

Avaliação dos Aquíferos das Bacias
Sedimentares da Província Hidrogeológica
Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e
Cidades Pilotos (escala 1:50.000)

Volume IV - Hidrogeoquímica da PHA

Tomo II - Aquífero Alter do Chão,
Coberturas Cenozoicas de Porto Velho,
Barreiras, Pirabas, Monte Alegre, Itaituba e
Inominado (Cruzeiro do Sul)

Dezembro/2015

República Federativa do Brasil

Dilma Vana Roussef

Presidenta

Ministério do Meio Ambiente

Izabella Mônica Vieira Teixeira

Ministra

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

Vicente Andreu Guillo - Diretor-Presidente

Gisela Forattini

João Gilberto Lotufo Conejo

Ney Maranhão

Paulo Lopes Varella Neto

Superintendência de Implementação e Programas e Projetos

Ricardo Medeiros de Andrade

Tibério Magalhães Pinheiro

Coordenação de Águas Subterrâneas

Fernando Roberto de Oliveira

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso (Gestor)

Leonardo de Almeida

Letícia Lemos de Moraes

Márcia Tereza Pantoja Gaspar

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização

Aline Maria Meiguins de Lima (SEMAS/PA)

Audrey Nery Oliveira Ferreira (FEMARH/RR)

Cléa Maria de Almeida Dore (FEMARH/RR)

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso (ANA)

Fernando Roberto de Oliveira (ANA)

Flávio Soares do Nascimento (ANA)

Glauco Lima Feitosa (IMAC/AC)

Jane Freitas de Góes Crespo (SEMGRH/AM)
José Trajano dos Santos (SEDAM/RO)
Luciani Aguiar Pinto (SEMGRH/AM)
Luciene Mota de Leão Chaves (SEMAS/PA)
Marco Vinicius Castro Gonçalves (ANA)
Maria Antônia Zabala de Almeida Nobre (SEMA/AC)
Miguel Martins de Souza (SEMGRH/AM)
Miguel Penha (SEDAM/RO)
Nilza Yuiko Nakahara (FEMARH/RR)
Olavo Bilac Quaresma de Oliveira Filho (SEMAS/PA)
Vera Lucia Reis (SEMA/AC)
Verônica Jussara Costa Santos (SEMAS/PA)

Consórcio PROJETEC/TECHNE (Coordenação Geral)

João Guimarães Recena
Luiz Alberto Teixeira
Antonio Carlos de Almeida Vidon
Fábio Chaffin

Gerência do Contrato

Marcelo Casiuch
Roberta Alcoforado

Membros da Equipe Técnica Executora

João Manoel Filho (Coordenador)
Alerson Falieri Suarez
Ana Nery Cadete
Antonio Carlos Tancredi
Carla Maria Salgado Vidal
Carlos Danilo Câmara de Oliveira
Cristiana Coutinho Duarte
Edilton Carneiro Feitosa
Fabianny Joanny Bezerra C. da Silva
Maria de Fátima França de Moura
Fernando Correia
Joanderson James Oliveira Moraes

Ludmilla Calado
Marcondes Assis
Maria Marlúcia Freitas Santiago
Mário Vicente Caputo
Nelson da Franca Ribeiro dos Anjos
Patrícia Celeste Lopes Jesuíno
Paulo de Melo da Cunha Pedrosa
Rilson Magalhães Cabral
Roseli da Rocha Paixão de Almeida
Rudson Fonseca
Thiago Franklin de Almeida
Wagner Vitor Araújo Ferreira
Waldir Duarte Costa
Walter Lucena
Wilton José Silva da Rocha

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA

Avaliação dos Aquíferos das Bacias
Sedimentares da Província Hidrogeológica
Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e
Cidades Pilotos (escala 1:50.000)

Volume IV - Hidrogeoquímica da PHA

Tomo II - Aquífero Alter do Chão,
Coberturas Cenozoicas de Porto Velho,
Barreiras, Pirabas, Monte Alegre, Itaituba
e Inominado (Cruzeiro do Sul)

Dezembro/2015

Agência Nacional de Águas - ANA
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco B, L e M
CEP: 70610-200, Brasília - DF
PABX: 2109-5400 / 2109-5252
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Equipe:
Agência Nacional de Águas - ANA
Superintendência de Implementação de Programas e Projetos - SIP

Elaboração e execução:
Consórcio TECHNE- PROJETEC

Todos os direitos reservados
É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada a fonte.

Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000).

Volume IV – Hidrogeoquímica da PHA.

Tomo II - Aquífero Alter do Chão, Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, Barreiras, Pirabas, Monte Alegre, Itaituba e Inominado (Cruzeiro do Sul)

Brasília: ANA, SIP, 2015.

1. Recursos Hídricos
 2. Província Hidrogeológica Amazonas
- I. Agência Nacional de Águas
II. Consórcio TECHNE-PROJETEC

APRESENTAÇÃO

O relatório final de Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas (PHA) no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000) é constituído dos seguintes volumes:

- Volume I – Balanço Hídrico da Província Hidrogeológica Amazonas
- Volume II – Geologia da Província Hidrogeológica Amazonas
- Volume III – Hidrogeologia e Modelo Numérico de Fluxo da Província Hidrogeológica Amazonas
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume IV – Hidrogeoquímica da Província Hidrogeológica Amazonas
 - ✓ Tomo I - Aquíferos: Aluvial, Rio Branco, Içá e Tucunaré
 - ✓ Tomo II - Aquífero Alter do Chão, Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, Barreiras, Pirabas, Monte Alegre, Itaituba e Inominado (Cruzeiro do Sul)
- Volume V – Cidade Piloto: Macapá – AP
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VI – Cidade Piloto: Porto Velho – RO
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VII – Cidade Piloto: Rio Branco – AC
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume VIII – Cidade Piloto: Santarém – PA
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume IX – Cidade Piloto: Tabatinga – AM
 - ✓ Tomo I - Texto
 - ✓ Tomo II - Mapas
- Volume X – Proposta de Projeto para Proteção Ambiental e Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas na Região Amazônica a ser Desenvolvido pelo Brasil e Países Vizinhos
- Volume XI – Banco de Dados
- Volume XII – Resumo Executivo

SUMÁRIO

1 - Introdução.....	55
1.1 – Objetivo do Estudo	56
1.2 – Critérios de seleção para as amostragens	59
1.3 – Procedimentos de Coleta	60
1.4 – Métodos de Análise	61
1.5 – Modelagem Geoestatística	62
1.6 – Modelagem Estatística de Parâmetros Físico-Químicos com Valores Abaixo do Limite de Detecção	64
1.7 - Balanço Iônico	67
1.8 - Índice de Troca de Bases (ITB).....	67
1.9 - Razões Iônicas	68
1.10 - Índice de Langelier	68
1.11 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas.....	69
1.12 – Influência do Intemperismo Químico Regional na Qualidade das Águas Subterrâneas da Província Hidrogeológica Amazonas - PHA	70
2 – Parâmetros Usados na Avaliação Hidrogeoquímica das Águas dos Sistemas Aquíferos da PHA	72
2.1 - Cor.....	73
2.2 - Turbidez.....	73
2.3 – Condutividade Elétrica (CE)	73
2.4 – Temperatura	74
2.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	74
2.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH).....	75
2.7 – Potencial Redox (Eh)	75
2.8 – Cátions	76
2.8.1 - Sódio	76
2.8.2 - Potássio	76
2.8.3 - Cálcio.....	76
2.8.4 - Magnésio	77
2.9 – Ânions	77
2.9.1 - Cloreto	77
2.9.2 - Sulfato.....	78

2.9.3 - Bicarbonato.....	78
2.10 - Dureza	79
2.11 - Compostos Nitrogenados	79
2.12 - Ferro e Manganês	81
2.13 – Metais Pesados	85
2.14 – BTEX e Fenóis	87
2.14.1 - BTEX	87
2.14.2 - Fenóis	88
2.15 – Isótopos Ambientais	89
2.15.1 – Oxigênio-18 e Deutério	89
2.15.2 – Trício.....	90
2.15.3 – Carbono-14	91
2.16 – Parâmetros Biológicos	91
3 – Hidrogeoquímica do Aquífero Alter do Chão.....	93
3.1 - Introdução	94
3.2 - Balanço Iônico	95
3.3 - Índice de Troca de Bases (ITB).....	100
3.4 - Razões Iônicas	104
3.5 - Índice de Langelier	107
3.6 Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas.....	109
3.7 - Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas do Aquífero Alter do Chão.....	120
3.7.1 - Cor.....	120
3.7.2 - Turbidez.....	121
3.7.3 - Condutividade Elétrica (CE).....	123
3.7.4 - Temperatura	125
3.7.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	126
3.7.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH)	131
3.7.7 - Potencial Redox (Eh).....	133
3.7.8 - Cátions.....	136
3.7.8.1 - Sódio	136
3.7.8.2 - Potássio.....	138
3.7.8.3 - Cálcio.....	139
3.7.8.4 - Magnésio	141

3.7.9 - Ânions.....	142
3.7.9.1 - Cloreto.....	142
3.7.9.2 - Sulfato.....	144
3.7.9.3 - Bicarbonato.....	146
3.7.10 - Dureza.....	147
3.7.11 - Compostos Nitrogenados.....	149
3.7.11.1 - Nitrato.....	149
3.7.11.2 - Nitrito.....	151
3.7.11.3 - Amônia.....	152
3.7.12 - Ferro e Manganês.....	154
3.7.12.1 - Ferro.....	154
3.7.12.2 - Manganês.....	156
3.7.13 – Metais Pesados.....	158
3.7.14 – BTEX e Fenóis.....	160
3.7.14.1 - BTEX.....	160
3.7.14.2 - Fenóis.....	160
3.7.15 – Isótopos Ambientais.....	161
3.7.15.1 – Oxigênio 18 e Deutério.....	161
3.7.15.2 – Trício.....	163
3.7.15.3 – Carbono 14.....	163
3.7.15.4 - Conclusão.....	165
3.7.16 – Parâmetros Biológicos.....	165
3.7.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Alter do Chão Segundo a Composição.....	166
3.7.17.1 – Diagrama Triangular de Piper.....	167
3.7.17.2 – Diagrama de Stiff.....	169
3.7.18 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Alter do Chão Segundo o Uso.....	190
3.7.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano.....	190
3.7.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação.....	193
3.7.18.3 – Pecuária.....	196
3.7.19 - Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Alter do Chão.....	197
4 – Hidrogeoquímica do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	200
4.1 - Introdução.....	201

4.2 – Influência Antrópica e Sazonal na Qualidade das Águas Subterrâneas e Influência Sazonal na Qualidade das Águas Superficiais no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	202
4.3 - Balanço Iônico	207
4.4 - Índice de Troca de Bases (ITB).....	210
4.5 - Razões Iônicas	213
4.6 - Índice de Langelier	214
4.7 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas.....	216
4.8 - Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	225
4.8.1 - Cor.....	225
4.8.2 - Turbidez.....	226
4.8.3 - Condutividade Elétrica (CE).....	228
4.8.4 - Temperatura	230
4.8.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	231
4.8.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH)	234
4.8.7 - Potencial Redox (Eh).....	236
4.8.8 - Cátions.....	238
4.8.8.1 - Sódio	238
4.8.8.2 - Potássio.....	240
4.8.8.3 - Cálcio.....	241
4.8.8.4 - Magnésio	242
4.8.9 - Ânions.....	244
4.8.9.1 - Cloreto.....	244
4.8.9.2 - Sulfato	246
4.8.9.3 - Bicarbonato	247
4.8.10 - Dureza	249
4.8.11 - Compostos Nitrogenados	250
4.8.11.1 - Nitrato	250
4.8.11.2 - Nitrito	252
4.8.11.3 - Amônia	254
4.8.12 - Ferro e Manganês	256
4.8.12.1 - Ferro	256
4.8.12.2 - Manganês.....	257
4.8.13 – Metais Pesados	259

4.8.14 – BTEX e Fenóis.....	261
4.8.14.1 - BTEX.....	261
4.8.14.2 - Fenóis.....	261
4.8.15 – Isótopos Ambientais.....	262
4.8.15.1 – Oxigênio 18 e Deutério.....	262
4.8.15.2 – Trício.....	263
4.8.15.3 – Carbono 14.....	264
4.8.15.4 - Conclusão.....	265
4.8.16 – Parâmetros Biológicos.....	266
4.8.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho Segundo a Composição.....	267
4.8.17.1 – Diagrama Triangular de Piper.....	267
4.8.17.2 – Diagrama de Stiff.....	270
4.8.18 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho Segundo o Uso.....	282
4.8.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano.....	282
4.8.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação... ..	283
4.8.18.3 – Pecuária.....	286
4.8.19 - Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.....	287
5 – Hidrogeoquímica do Aquífero Barreiras.....	290
5.1 - Introdução.....	291
5.2 – Influência Antrópica e Ambiental na Baía de Guajará - Estuário do rio Pará.....	292
5.3 - Balanço Iônico.....	293
5.4 - Índice de Troca de Bases (ITB).....	296
5.5 - Razões Iônicas.....	298
5.6 - Índice de Langelier.....	299
5.7 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas.....	300
5.8 - Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Barreiras.....	309
5.8.1 - Cor.....	309
5.8.2 - Turbidez.....	311
5.8.3 - Condutividade Elétrica (CE).....	313
5.8.4 - Temperatura.....	314

5.8.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	315
5.8.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH)	318
5.8.7 - Potencial Redox (Eh).....	320
5.8.8 - Cátions.....	323
5.8.8.1 - Sódio	323
5.8.8.2 - Potássio.....	325
5.8.8.3 - Cálcio.....	326
5.8.8.4 - Magnésio	327
5.8.9 - Ânions.....	329
5.8.9.1 - Cloreto	329
5.8.9.2 - Sulfato	330
5.8.9.3 - Bicarbonato	332
5.8.10 - Dureza	333
5.8.11 - Compostos Nitrogenados	335
5.8.11.1 - Nitrato	335
5.8.11.2 – Nitrito	337
5.8.11.3 - Amônia	338
5.8.12 - Ferro e Manganês	340
5.8.12.1 - Ferro.....	340
5.8.12.2 - Manganês.....	342
5.8.13 – Isótopos Ambientais.....	343
5.8.13.1 – Oxigênio 18 e Deutério	343
5.8.13.2 – Trício.....	344
5.8.13.3 – Carbono 14	345
5.8.13.4 - Conclusão.....	346
5.8.14 – Parâmetros Biológicos	346
5.8.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Barreiras Segundo a Composição.....	347
5.8.15.1 – Diagrama Triangular de Piper.....	348
5.8.15.2 – Diagrama de Stiff	350
5.8.16 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Barreiras Segundo o Uso	358
5.8.16.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano.....	358
5.8.16.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação... ..	359

5.8.16.3 – Pecuária.....	362
5.8.17 - Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Barreiras.....	363
6 – Hidrogeoquímica do Aquífero Pirabas	365
6.1 - Introdução	366
6.2 - Balanço Iônico	367
6.3 - Índice de Troca de Bases (ITB).....	369
6.4 - Razões Iônicas	372
6.5 - Índice de Langelier	373
6.6 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas.....	374
6.7 - Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Pirabas	384
6.7.1 - Cor.....	384
6.7.2 - Turbidez.....	385
6.7.3 - Condutividade Elétrica (CE).....	385
6.7.4 - Temperatura	386
6.7.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	386
6.7.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH)	388
6.7.7 - Potencial Redox (Eh).....	389
6.7.8 - Cátions.....	391
6.7.8.1 - Sódio	391
6.7.8.2 - Potássio.....	392
6.7.8.3 - Cálcio.....	392
6.7.8.4 - Magnésio	393
6.7.9 - Ânions.....	393
6.7.9.1 - Cloreto	393
6.7.9.2 - Sulfato	394
6.7.9.3 - Bicarbonato	394
6.7.10 - Dureza	395
6.7.11 - Compostos Nitrogenados	396
6.7.11.1 - Nitrato	396
6.7.11.2 - Nitrito	397
6.7.11.3 - Amônia	397
6.7.12 - Ferro e Manganês	398

6.7.12.1 - Ferro	398
6.7.12.2 - Manganês.....	399
6.7.13 – Isótopos Ambientais.....	400
6.7.13.1 – Oxigênio 18 e Deutério	400
6.7.13.2 – Trício.....	400
6.7.13.3 – Carbono 14	401
6.7.13.4 - Conclusão.....	402
6.7.14 – Parâmetros Biológicos	403
6.7.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Pirabas Segundo a Composição.....	404
6.7.15.1 – Diagrama Triangular de Piper	404
6.7.15.2 – Diagrama de Stiff	407
6.7.16 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Pirabas Segundo o Uso	413
6.7.16.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano.....	413
6.7.16.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação... ..	415
6.7.16.3 – Pecuária.....	417
6.7.17 - Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Pirabas	417
7 – Hidrogeoquímica do Aquífero Monte Alegre	420
7.1 - Introdução	421
7.2 - Balanço Iônico	422
7.3 - Índice de Troca de Bases (ITB).....	422
7.4 - Razões Iônicas	423
7.5 - Índice de Langelier	423
7.6 - Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Monte Alegre.....	424
7.6.1 - Cor.....	424
7.6.2 - Turbidez.....	424
7.6.3 - Condutividade Elétrica (CE).....	424
7.6.4 - Temperatura	425
7.6.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	425
7.6.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH)	426
7.6.7 - Potencial Redox (Eh).....	426
7.6.8 - Cátions.....	427

7.6.8.1 - Sódio	427
7.6.8.2 - Potássio.....	427
7.6.8.3 - Cálcio.....	427
7.6.8.4 - Magnésio	428
7.6.9 - Ânions.....	428
7.6.9.1 - Cloreto.....	428
7.6.9.2 - Sulfato	428
7.6.9.3 - Bicarbonato	429
7.6.10 - Dureza	429
7.6.11 - Compostos Nitrogenados	430
7.6.11.1 - Nitrato	430
7.6.11.2 - Nitrito	431
7.6.11.3 - Amônia	431
7.6.12 - Ferro e Manganês	432
7.6.12.1 - Ferro.....	432
7.6.12.2 - Manganês.....	432
7.6.13 – Parâmetros Biológicos	433
7.6.14 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Monte Alegre Segundo a Composição.....	434
7.6.14.1 – Diagrama Triangular de Piper.....	434
7.6.14.2 – Diagrama de Stiff.....	436
7.6.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Monte Alegre Segundo o Uso	437
7.6.15.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano.....	437
7.6.15.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação... ..	439
7.6.15.3 – Pecuária.....	441
7.6.16 - Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Monte Alegre	442
8 – Hidrogeoquímica do Aquífero Itaituba	444
8.1 - Introdução	445
8.2 - Balanço Iônico	446
8.3 - Índice de Troca de Bases (ITB).....	447
8.4 - Razões Iônicas	448
8.5 - Índice de Langelier	449

8.6 – Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquitardo Itaituba	449
8.6.1 - Cor	449
8.6.2 - Turbidez.....	449
8.6.3 - Condutividade Elétrica (CE).....	450
8.6.4 - Temperatura	451
8.6.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	451
8.6.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH)	451
8.6.7 - Potencial Redox (Eh).....	452
8.6.8 - Cátions.....	453
8.6.8.1 - Sódio	453
8.6.8.2 - Potássio.....	453
8.6.8.3 - Cálcio.....	454
8.6.8.4 - Magnésio	454
8.6.9 - Ânions.....	454
8.6.9.1 - Cloreto	454
8.6.9.2 - Sulfato	455
8.6.9.3 - Bicarbonato	455
8.6.10 - Dureza	455
8.6.11 - Compostos Nitrogenados	456
8.6.11.1 - Nitrato	456
8.6.11.2 - Nitrito	457
8.6.11.3 - Amônia	457
8.6.12 - Ferro e Manganês	458
8.6.12.1 - Ferro	458
8.6.12.2 - Manganês.....	459
8.6.13 – Isótopos Ambientais.....	459
8.6.13.1 – Oxigênio 18 e Deutério	459
8.6.13.2 – Trício.....	460
8.6.13.3 – Carbono 14	461
8.6.13.4 - Conclusão.....	462
8.6.14 – Parâmetros Biológicos	463
8.6.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquitardo Itaituba Segundo a Composição Química	464

8.6.15.1 – Diagrama Triangular de Piper	464
8.6.15.2 – Diagrama de Stiff	466
8.6.16 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquitardo Itaituba Segundo o Uso	468
8.6.16.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano	468
8.6.16.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação...	469
8.6.16.3 – Pecuária.....	471
8.6.17 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquitardo Itaituba.....	472
9 – Hidrogeoquímica do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul)	474
9.1 - Introdução	475
9.2 - Balanço Iônico	478
9.3 - Índice de Troca de Bases (ITB).....	480
9.4 - Razões Iônicas	482
9.5 - Índice de Langelier	483
9.6 – Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul)	484
9.6.1 - Cor.....	484
9.6.2 - Turbidez.....	484
9.6.3 - Condutividade Elétrica (CE).....	485
9.6.4 - Temperatura	486
9.6.5 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	486
9.6.6 - Potencial Hidrogeniônico (pH)	487
9.6.7 - Potencial Redox (Eh).....	487
9.6.8 - Cátions.....	488
9.6.8.1 - Sódio	488
9.6.8.2 - Potássio.....	489
9.6.8.3 - Cálcio.....	489
9.6.8.4 - Magnésio	490
9.6.9 - Ânions.....	491
9.6.9.1 - Cloreto.....	491
9.6.9.2 - Sulfato	491
9.6.9.3 - Bicarbonato	492
9.6.10 - Dureza	493
9.6.11 - Compostos Nitrogenados	494

9.6.11.1 - Nitrato	494
9.6.11.2 – Nitrito	495
9.6.11.3 - Amônia	495
9.6.12 - Ferro e Manganês	496
9.6.12.1 - Ferro	496
9.6.12.2 - Manganês.....	496
9.6.13 – Isótopos Ambientais.....	497
9.6.13.1 – Oxigênio 18 e Deutério	497
9.6.13.2 – Trício.....	498
9.6.13.3 - Conclusão.....	498
9.6.14 – Parâmetros Biológicos	499
9.6.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) Segundo a Composição Química	500
9.6.15.1 – Diagrama Triangular de Piper	501
9.6.15.2 – Diagrama de Stiff	503
9.6.16 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) Segundo o Uso	506
9.6.16.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano.....	506
9.6.16.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação... ..	507
9.6.16.3 – Pecuária.....	510
9.6.17 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul).....	510
10 – Síntese da Hidrogeoquímica da PHA.....	513
10.1 - Introdução	514
10.2 – Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas da PHA	515
10.2.1 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	515
10.2.2 - Potencial Hidrogeniônico (pH)	517
10.2.3 - Dureza	518
10.2.4 - Nitrato	520
10.2.5 - Ferro	521
10.2.6 – Parâmetros Biológicos	523
10.3 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas na PHA	525
11 – Referências Bibliográficas	527
12 – ANEXOS	539

12.1 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Alter do Chão.....	540
12.1.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	541
12.1.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	545
12.1.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	551
12.2 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.....	556
12.2.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	557
12.2.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	560
12.2.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	563
12.3 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Barreiras	566
12.3.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Barreiras durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	567
12.3.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Barreiras durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	568
12.3.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Barreiras durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	569
12.4 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Pirabas	570
12.4.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Pirabas durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	571
12.4.2 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Pirabas durante a segunda campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	572

12.4.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Pirabas durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	573
12.5 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Monte Alegre	574
12.5.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Monte Alegre durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	575
12.5.2 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Monte Alegre durante a segunda campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	576
12.6 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquitardo Itaituba	577
12.6.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquitardo Itaituba durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	578
12.6.2 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquitardo Itaituba durante a segunda campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	579
12.6.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquitardo Itaituba durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	580
12.7 – Resultados Hidrogeoquímicos nas coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul)	581
12.7.1 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	582
12.7.2 – Análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) durante a segunda campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.....	583
12.7.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.....	584
12.8 – Protocolo de Guia de Coleta de Amostras Bioagri Ambiental	585

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Quantitativos de poços analisados, cidades e seus respectivos aquíferos nas duas campanhas de amostragem na PHA.	58
Tabela 1.2 – Parâmetros analisados, limites de detecção (LD) e valores numéricos adotados para estatística descritiva dos resultados das coletas nos Aquíferos da PHA nas duas campanhas.	65
Tabela 1.3 – Estatística descritiva com 100% de valores abaixo do limite de detecção da cor, substituídos por um valor numérico.	66
Tabela 1.4 – Distribuição de probabilidade da cor para 100% de valores abaixo do limite de detecção, substituídos por um valor numérico.	67
Tabela 1.5 – Principais razões iônicas e seus significados segundo Hem (1985).	68
Tabela 1.6 – Faixas do IS segundo Snoeyink & Jenkins (1980).	69
Tabela 2.1 - Classificação das águas subterrâneas quanto ao STD, segundo Mcneely <i>et al.</i> (1979).	74
Tabela 2.2 – Classificação das águas segundo a sua faixa de valor de dureza (Von Sperling, 2005).	79
Tabela 2.3 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de nitrato e nitrito para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	80
Tabela 2.4 – Valores Máximos Permitidos (VMP) de ferro e manganês para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	82
Tabela 2.5 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco, segundo a Portaria MS 2914/2011.	88
Tabela 2.6 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	88
Tabela 2.7 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX), segundo a Portaria MS 2914/2011.	89
Tabela 2.8 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	89
Tabela 2.9 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Fenóis para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	90
Tabela 2.10 – Relação entre unidades de trício (U.T.) e idade das águas subterrâneas.	92
Tabela 2.11 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de microorganismos para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).	93

Tabela 3.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão – abril de 2012.	96
Tabela 3.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão – outubro de 2012.	99
Tabela 3.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas.	102
Tabela 3.4 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas.	105
Tabela 3.5 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas.	106
Tabela 3.6 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas.	109
Tabela 3.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – abril de 2012.	111
Tabela 3.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – outubro de 2012.	116
Tabela 3.9 – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.	121
Tabela 3.10 – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.	122
Tabela 3.11 – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.	123
Tabela 3.12 – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.	124
Tabela 3.13 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do aquífero Alter do Chão no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.	124
Tabela 3.14 – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.	125
Tabela 3.15 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.	126
Tabela 3.16 – Distribuição de probabilidade do Temperatura (°C) do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.	127
Tabela 3.17 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas de amostragem.	127

Tabela 3.18 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.....	130
Tabela 3.19 – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.....	131
Tabela 3.20 – Estatística descritiva do <i>pH in situ</i> do aquífero Alter do Chão no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).	132
Tabela 3.21 – Distribuição de probabilidade do pH do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).	133
Tabela 3.22 – Estatística descritiva do Eh (mV) do aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012.	135
Tabela 3.23 – Distribuição de probabilidade do Eh (mV) do aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012. ...	136
Tabela 3.24 – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.	137
Tabela 3.25 – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012....	139
Tabela 3.26 – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.	139
Tabela 3.27 – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.	140
Tabela 3.28 – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.	141
Tabela 3.29 – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012....	142
Tabela 3.30 – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.	142
Tabela 3.31 – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012. ...	143
Tabela 3.32 – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.	144
Tabela 3.33 – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.	145
Tabela 3.34 – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.	145

Tabela 3.35 – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.	147
Tabela 3.36 – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.	147
Tabela 3.37 – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012.....	148
Tabela 3.38 – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.....	150
Tabela 3.39 – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	150
Tabela 3.40 – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.....	151
Tabela 3.41 – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	152
Tabela 3.42 – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.....	153
Tabela 3.43 – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.	154
Tabela 3.44 – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.	155
Tabela 3.45 – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.....	156
Tabela 3.46 – Distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.....	157
Tabela 3.47 – Estatística descritiva do Manganês do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.	158
Tabela 3.48 – Distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012... ..	159
Tabela 3.49 – Valores de oxigênio-18 e deutério obtidos nas amostras coletadas no aquífero Alter do Chão no período seco (outubro de 2012).	163
Tabela 3.50 – Idades aparentes ou convencionais do radiocarbono (^{14}C) em anos BP (before present – 1950) que, quando inferior a 200 anos, é dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (percent modern carbon).....	165
Tabela 3.51 - Classificação das Águas do Aquífero Alter do Chão segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).	169

Tabela 3.52 - Classificação das Águas do Aquífero Alter do Chão, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).	170
Tabela 3.53 - Classificação das águas do aquífero Alter do Chão, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).	170
Tabela 3.54 - Classificação das águas do aquífero Alter do Chão, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).	180
Tabela 3.55 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.	196
Tabela 3.56 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).	198
Tabela 4.1 – Os três valores mais altos dos parâmetros com bias nas amostras de água subterrânea analisadas nas duas campanhas de amostragem no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.	205
Tabela 4.2 – Variáveis físico-químicas do Rio Madeira para os períodos hidrológicos de seca e cheia, segundo Bernardi <i>et al.</i> (2009).	206
Tabela 4.3 – Distribuição de probabilidade do pH da água do rio Madeira no período chuvoso (pH-1) - fevereiro de 2004 e no período seco (pH-2) – novembro de 2003, em Porto Velho. (Dados de Bernardi <i>et al.</i> , 2009).	207
Tabela 4.4 – Distribuição de probabilidade da temperatura da água do rio Madeira T(°C) no período chuvoso (T-1) - fevereiro de 2004 e no período seco (T-2) - novembro de 2003, em Porto Velho. (Dados de Bernardi <i>et al.</i> , 2009).	207
Tabela 4.5 – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) da água do rio Madeira no período chuvoso (CE-1) - fevereiro de 2004 e no período seco (CE-2) - novembro de 2003, em Porto Velho. (Dados de Bernardi <i>et al.</i> , 2009).	207
Tabela 4.6 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – abril de 2012.	208
Tabela 4.7 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – outubro de 2012.	209
Tabela 4.8 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas.	211
Tabela 4.9 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas.	213
Tabela 4.10 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas.	215
Tabela 4.11 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas.	216

Tabela 4.12 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – abril de 2012.	217
Tabela 4.13 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – outubro de 2012.	221
Tabela 4.14 – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Cor-1) abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.	226
Tabela 4.15 – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.	227
Tabela 4.16 – Estatística descritiva da Turbidez do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.	228
Tabela 4.17 – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.	228
Tabela 4.18 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.	229
Tabela 4.19 – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.	230
Tabela 4.20 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.	231
Tabela 4.21 – Distribuição de probabilidade do T(°C) no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.	232
Tabela 4.22 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, nas duas campanhas de amostragem.	232
Tabela 4.23 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.	234
Tabela 4.24 – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.	235
Tabela 4.25 – Estatística descritiva do pH <i>in situ</i> no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).	235

Tabela 4.26 – Distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).	237
Tabela 4.27 – Estatística descritiva do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).	238
Tabela 4.28 – Distribuição de probabilidade do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).	239
Tabela 4.29 – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.	239
Tabela 4.30 – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.	240
Tabela 4.31 – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.	241
Tabela 4.32 – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.	242
Tabela 4.33 – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.	242
Tabela 4.34 – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.	243
Tabela 4.35 – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.	244
Tabela 4.36 – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.	245
Tabela 4.37 – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Cl-1) abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.	245
Tabela 4.38 – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.	246
Tabela 4.39 – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.	247

Tabela 4.40 – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.....	248
Tabela 4.41 – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.....	249
Tabela 4.42 – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.....	250
Tabela 4.43 – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.	251
Tabela 4.44 – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.....	252
Tabela 4.45 – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	253
Tabela 4.46 – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.....	253
Tabela 4.47 – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.....	255
Tabela 4.48 – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.....	255
Tabela 4.49 – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.....	256
Tabela 4.50 – Estatística descritiva do Ferro (mg/L) do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.....	257
Tabela 4.51 – Distribuição de probabilidade do Ferro (mg/L) do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.....	258
Tabela 4.52 – Estatística descritiva do Manganês (mg/L) do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.....	259

Tabela 4.53 – Distribuição de probabilidade do Manganês (mg/L) do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.....	260
Tabela 4.54 – Valores de oxigênio-18 e deutério dosados nas amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período seco (outubro de 2012)....	263
Tabela 4.55 – Idade aparente ou convencional do radiocarbono (^{14}C) em anos BP (<i>before present</i> – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (<i>percent modern carbon</i>).....	266
Tabela 4.56 - Classificação das Águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).....	269
Tabela 4.57 - Classificação das Águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).....	271
Tabela 4.58 - Classificação das Águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).....	271
Tabela 4.59 - Classificação das Águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).....	276
Tabela 4.60 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.....	286
Tabela 4.61 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).....	288
Tabela 5.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Barreiras – abril de 2012.....	294
Tabela 5.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Barreiras – outubro de 2012.....	295
Tabela 5.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Barreiras nas duas campanhas.....	297
Tabela 5.4 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no Aquífero Barreiras nas duas campanhas.....	299
Tabela 5.5 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no Aquífero Barreiras nas duas campanhas.....	300
Tabela 5.6 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Barreiras, nas duas campanhas.....	301
Tabela 5.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Barreiras – abril de 2012.....	302
Tabela 5.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Barreiras – outubro de 2012.....	306

Tabela 5.9 – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.	310
Tabela 5.10 – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.....	312
Tabela 5.11 – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.....	312
Tabela 5.12 – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.....	313
Tabela 5.13 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Barreiras no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012. ...	314
Tabela 5.14 – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Barreiras no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.....	315
Tabela 5.15 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Barreiras no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.....	315
Tabela 5.16 – Distribuição de probabilidade do Temperatura (°C) do Aquífero Barreiras, no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012....	316
Tabela 5.17 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Barreiras nas duas campanhas de amostragem.	317
Tabela 5.18 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Barreiras no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.....	318
Tabela 5.19 – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Barreiras no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.....	319
Tabela 5.20 – Estatística descritiva do pH <i>in situ</i> do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).	320
Tabela 5.21 – Distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2). ...	320
Tabela 5.22 – Estatística descritiva do Eh (mV) do Aquífero Barreiras no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).	323
Tabela 5.23 – Distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Barreiras no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).....	324
Tabela 5.24 – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.	324
Tabela 5.25 – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.	325

Tabela 5.26 – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.	326
Tabela 5.27 – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.	327
Tabela 5.28 – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.	327
Tabela 5.29 – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.	328
Tabela 5.30 – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.	329
Tabela 5.31 – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012. ...	330
Tabela 5.32 – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Cl-1) abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.	330
Tabela 5.33 – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.	331
Tabela 5.34 – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Barreiras período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.....	332
Tabela 5.35 – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Barreiras no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.	333
Tabela 5.36 – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Barreiras no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.	333
Tabela 5.37 – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Barreiras no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.	334
Tabela 5.38 – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Barreiras no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.	335
Tabela 5.39 – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Barreiras no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	336
Tabela 5.40 – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Barreiras no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	337
Tabela 5.41 – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Barreiras no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	338
Tabela 5.42 – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Barreiras no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	339
Tabela 5.43 – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Barreiras no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.....	340

Tabela 5.44 – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Barreiras no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.	341
Tabela 5.45 – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.	341
Tabela 5.46 – Distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.....	342
Tabela 5.47 – Estatística descritiva do Manganês do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.	343
Tabela 5.48 – Distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012. ...	344
Tabela 5.49 – Valores de oxigênio-18 e deutério obtido na amostra coletada no aquífero Barreiras no período seco (outubro de 2012).....	345
Tabela 5.50 – Idade aparente ou convencional do radiocarbono (^{14}C) em anos BP (<i>before present</i> – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (<i>percent modern carbon</i>).....	346
Tabela 5.51 - Classificação das Águas do Aquífero Barreiras segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).	350
Tabela 5.52 - Classificação das Águas do Aquífero Barreiras, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).	351
Tabela 5.53 - Classificação das Águas do Aquífero Barreiras, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).	351
Tabela 5.54 - Classificação das Águas do Aquífero Barreiras, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).	355
Tabela 5.55 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.	363
Tabela 5.56 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).	363
Tabela 6.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Pirabas – abril de 2012.	369
Tabela 6.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Pirabas – outubro de 2012.....	369
Tabela 6.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Pirabas nas duas campanhas.	371
Tabela 6.4 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Pirabas nas duas campanhas.	372
Tabela 6.5 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Pirabas nas duas campanhas.	374

Tabela 6.6 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Pirabas nas duas campanhas.	375
Tabela 6.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Pirabas – abril de 2012.....	376
Tabela 6.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Pirabas – outubro de 2012.	380
Tabela 6.9 – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.	385
Tabela 6.10 – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.	386
Tabela 6.11 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Pirabas no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012. ...	386
Tabela 6.12 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Pirabas no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.....	387
Tabela 6.13 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Pirabas nas duas campanhas de amostragem.....	388
Tabela 6.14 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Pirabas no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.	389
Tabela 6.15 – Estatística descritiva do pH <i>in situ</i> do Aquífero Pirabas no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).....	389
Tabela 6.16 – Estatística descritiva do Eh (mV) do Aquífero Pirabas no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).	391
Tabela 6.17 – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.	392
Tabela 6.18 – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Pirabas no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.....	393
Tabela 6.19 – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.	393
Tabela 6.20 – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.....	394
Tabela 6.21 – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.....	394
Tabela 6.22 – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Pirabas no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.....	395
Tabela 6.23 – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Pirabas no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.	396

Tabela 6.24 – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Pirabas no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.	396
Tabela 6.25 – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Pirabas no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	397
Tabela 6.26 – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Pirabas no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	398
Tabela 6.27 – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Pirabas no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.	399
Tabela 6.28 – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.	400
Tabela 6.29 – Estatística descritiva do Manganês do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.	400
Tabela 6.30 – Valores de oxigênio-18 e deutério obtido na amostra coletada no aquífero Pirabas no período seco (outubro de 2012).	401
Tabela 6.31 – Idade aparente ou convencional do radiocarbono (^{14}C) em anos BP (<i>before present</i> – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (<i>percent modern carbon</i>).	403
Tabela 6.32 - Classificação das águas do aquífero Pirabas segundo a composição química - período chuvoso (abril de 2012).	406
Tabela 6.33 - Classificação das águas do aquífero Pirabas, de acordo com a composição química - período seco (outubro de 2012).	408
Tabela 6.34 - Classificação das águas do aquífero Pirabas de acordo com a predominância de íons - período chuvoso (abril de 2012).	408
Tabela 6.35 - Classificação das Águas do Aquífero Pirabas de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).	411
Tabela 6.36 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.	418
Tabela 6.37 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).	418
Tabela 7.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Monte Alegre – abril e outubro de 2012.	423
Tabela 7.2 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no Aquífero Monte Alegre nas duas campanhas.	423
Tabela 7.3 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no Aquífero Monte Alegre nas duas campanhas.	424
Tabela 7.4 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para o aquífero Monte Alegre, nas duas campanhas de amostragem.	424

Tabela 7.5 – Valores de Cor obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	425
Tabela 7.6 – Valores de Turbidez obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	425
Tabela 7.7 – Valores de Condutividade Elétrica (CE) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	426
Tabela 7.8 – Valores de Temperatura obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	426
Tabela 7.9 – Valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	427
Tabela 7.10 – Valores de pH <i>in situ</i> (pH) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	427
Tabela 7.11 – Valores de Potencial Redox (Eh) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	427
Tabela 7.12 – Valores de Sódio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	428
Tabela 7.13 – Valores de Potássio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	428
Tabela 7.14 – Valores de Cálcio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	428
Tabela 7.15 – Valores de Magnésio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	429
Tabela 7.16 – Valores de Cloreto obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	429
Tabela 7.17 – Valores de Sulfato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	429
Tabela 7.18 – Valores de Bicarbonato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	430
Tabela 7.19 – Valores de Dureza obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	430
Tabela 7.20 – Valores de Nitrato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	431
Tabela 7.21 – Valores de Nitrito obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	432
Tabela 7.22 – Valores de Amônia obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	432

Tabela 7.23 – Valores de Ferro obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	433
Tabela 7.24 – Valores de Manganês obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.	433
Tabela 7.25 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.	442
Tabela 7.26 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).	443
Tabela 8.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Itaituba – abril de 2012.	447
Tabela 8.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Itaituba – outubro de 2012.	448
Tabela 8.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Itaituba nas duas campanhas.	449
Tabela 8.4 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Itaituba nas duas campanhas.	449
Tabela 8.5 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para o aquífero Itaituba nas duas campanhas de amostragem.	450
Tabela 8.6 – Valores de Cor obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.	450
Tabela 8.7 – Valores de Turbidez obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.	451
Tabela 8.8 – Valores de Condutividade Elétrica (CE) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.	451
Tabela 8.9 – Valores de Temperatura obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.	452
Tabela 8.10 – Valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.	452
Tabela 8.11 – Valores de pH <i>in situ</i> (pH) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.	453
Tabela 8.12 – Valores de Potencial Redox (Eh) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.	453
Tabela 8.13 – Valores de Sódio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.	454
Tabela 8.14 – Valores de Potássio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.	454

Tabela 8.15 – Valores de Cálcio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	455
Tabela 8.16 – Valores de Magnésio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	455
Tabela 8.17 – Valores de Cloreto obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	455
Tabela 8.18 – Valores de Sulfato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	456
Tabela 8.19 – Valores de Bicarbonato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	456
Tabela 8.20 – Valores de Dureza obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	457
Tabela 8.21 – Valores de Nitrato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	457
Tabela 8.22 – Valores de Nitrito obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	458
Tabela 8.23 – Valores de Amônia obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	459
Tabela 8.24 – Valores de Ferro obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	459
Tabela 8.25 – Valores de Manganês obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	460
Tabela 8.26 – Valores de oxigênio-18 e deutério obtido na amostra coletada no aquitardo Itaituba no período seco (outubro de 2012).....	461
Tabela 8.27 – Idade aparente ou convencional do radiocarbono (^{14}C) em anos BP (<i>before present</i> – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (<i>percent modern carbon</i>).....	462
Tabela 8.28 – Valores de Coliformes Totais obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	464
Tabela 8.29 – Valores de <i>E. coli</i> obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquitardo Itaituba.....	465
Tabela 8.30 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.	472
Tabela 8.31 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).	473

Tabela 9.1 – Análise de 23 perfis de poços catalogados do SIAGAS em 2015 na cidade de Cruzeiro do Sul – AC, com indicação de produtividade, porcentagem de arenitos e profundidade do topo dos filtros.	478
Tabela 9.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) – abril de 2012.	480
Tabela 9.3 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) – outubro de 2012.	480
Tabela 9.4 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas.	481
Tabela 9.5 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas.	483
Tabela 9.6 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas.....	484
Tabela 9.7 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas.	485
Tabela 9.8 – Estatística descritiva da Cor do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.	485
Tabela 9.9 – Estatística descritiva da Turbidez do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.	486
Tabela 9.10 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.....	486
Tabela 9.11 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.....	487
Tabela 9.12 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.....	487
Tabela 9.13 – Estatística descritiva do pH <i>in situ</i> do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).	488
Tabela 9.14 – Estatística descritiva do Eh (mV) do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012.	489
Tabela 9.15 – Estatística descritiva do Sódio do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012....	489

Tabela 9.16 – Estatística descritiva do Potássio do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012. ...	490
Tabela 9.17 – Estatística descritiva do Cálcio do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012. ...	491
Tabela 9.18 – Estatística descritiva do Magnésio do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.	491
Tabela 9.19 – Estatística descritiva do Cloreto do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.	492
Tabela 9.20 – Estatística descritiva do Sulfato do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.	493
Tabela 9.21 – Estatística descritiva do Bicarbonato do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.	494
Tabela 9.22 – Estatística descritiva da Dureza do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.	494
Tabela 9.23 – Estatística descritiva do Nitrato do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	495
Tabela 9.24 – Estatística descritiva do Nitrito do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	496
Tabela 9.25 – Estatística descritiva da Amônia do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012. ...	496
Tabela 9.26 – Estatística descritiva do Ferro do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.	497
Tabela 9.27 – Estatística descritiva do Manganês do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.	498
Tabela 9.28 – Valores de oxigênio-18 e deutério obtidos nas amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período seco (outubro de 2012).	498
Tabela 9.29 - Classificação das Águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).	503
Tabela 9.30 - Classificação das Águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).	504
Tabela 9.31 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.	511
Tabela 9.32 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).	511

Tabela 10.1 – Profundidade média e do topo dos filtros dos 98 poços localizados nos aquíferos analisados na PHA nas duas campanhas de amostragem.	516
Tabela 10.2 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos da PHA no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.	516
Tabela 10.3 – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos da PHA no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.	518
Tabela 10.4 – Estatística descritiva do pH <i>in situ</i> da PHA no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).	518
Tabela 10.5 – Distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> da PHA no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).	519
Tabela 10.6 – Estatística descritiva da Dureza da PHA no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.	520
Tabela 10.7 – Distribuição de probabilidade da Dureza da PHA no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.	521
Tabela 10.8 – Estatística descritiva do Nitrato da PHA no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	521
Tabela 10.9 – Distribuição de probabilidade do Nitrato da PHA no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.	522
Tabela 10.10 – Estatística descritiva do Ferro da PHA no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.	523
Tabela 10.11 – Distribuição de probabilidade do Ferro da PHA no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.	524
Tabela 10.12 – Valores de C.Totais na PHA nas duas campanhas de amostragem.	524
Tabela 10.13 – Valores de <i>E. Coli</i> na PHA nas duas campanhas de amostragem.	525

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização das cidades analisadas nas duas campanhas de amostragem na PHA.	57
Figura 1.2 – Equações utilizadas no <i>software</i> Qualigraf para estimativa do erro prático no balanço iônico, segundo as metodologias de Custodio & Llamas (1983) e Logan (1965).	67
Figura 2.1 – Diagrama pH-Eh ilustrando a solubilidade do ferro em relação a pH, em 3 (três) zonas, para $C_{T,S} = 10^4 M$; $C_{T,CO_3} = 10^{-3} M$, segundo Hem (1960). Adaptado de Snoeyink & Jenkins (1980).	83
Figura 3.1 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.	104
Figura 3.2 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.	104
Figura 3.3 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	122
Figura 3.4 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	123
Figura 3.5 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	125
Figura 3.6 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	126
Figura 3.7 – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Alter do Chão, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).	130
Figura 3.8 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	131
Figura 3.9 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	133
Figura 3.10 – Diagrama pH versus Eh (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Alter do Chão (temperatura in situ variou de 26 a 33,5°C) nas duas campanhas de amostragem.	134

Figura 3.11 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh (mV) do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	136
Figura 3.12 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	138
Figura 3.13 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	140
Figura 3.14 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	141
Figura 3.15 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	143
Figura 3.16 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	144
Figura 3.17 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sulfato Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	146
Figura 3.18 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	148
Figura 3.19 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	149
Figura 3.20 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	151
Figura 3.21 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	153
Figura 3.22 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	155
Figura 3.23 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	157

Figura 3.24 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	159
Figura 3.25 – Diagrama mostrando a relação de oxigênio 18 e deutério das precipitações e das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão.....	163
Figura 3.26 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Alter do Chão, segundo os dados de trício de 13 (treze) amostras coletadas.....	164
Figura 3.27 – Idades medidas com carbono 14 de amostras de água do aquífero Alter do Chão.....	165
Figura 3.28 – Classificação das águas do aquífero Alter do Chão, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.....	168
Figura 3.29 – Classificação das águas do aquífero Alter do Chão, coletadas no período seco (outubro de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.....	169
Figura 3.30a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão.....	171
Figura 3.30b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão.....	178
Figura 3.30c – Águas cloretadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão.....	179
Figura 3.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão.....	181
Figura 3.31b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão.....	189
Figura 3.31c – Águas cloretadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão.....	190
Figura 3.31d – Água bicarbonatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão.....	190
Figura 3.31e – Água sulfatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão.....	191
Figura 3.32 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	192

Figura 3.33 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	193
Figura 3.34 – Classificação das águas do aquífero Alter do Chão para fins de irrigação – abril de 2012.....	194
Figura 3.35 – Classificação das águas do aquífero Alter do Chão para fins de irrigação – outubro de 2012.....	195
Figura 4.1 – Variação dos níveis de água do Rio Madeira na região do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (posto fluviométrico 15400000) mostrando os períodos de cheia com altas águas em março-abril e os períodos de estiagem, com baixas águas em setembro-outubro (ANA, 2013).	206
Figura 4.2 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.	212
Figura 4.3 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.	213
Figura 4.4 – Gráfico do período chuvoso (abril de 2012), com todos os valores da amostra constantes (4,9 uH). Histograma de frequência no período seco (outubro de 2012) e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Cor das águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.	227
Figura 4.5 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Turbidez das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	228
Figura 4.6 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica (CE) das águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	230
Figura 4.7 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	231
Figura 4.8 – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).	233
Figura 4.9 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	234
Figura 4.10 – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade do pH do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	236

Figura 4.11 – Diagrama pH versus Eh (mV) de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Temperatura <i>in situ</i> variou de 25 a 36°C) nas duas campanhas de amostragem.	237
Figura 4.12 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	238
Figura 4.13 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	240
Figura 4.14 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	241
Figura 4.15 – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	243
Figura 4.16 – Histogramas de frequência e curvas ajustadas de distribuição lognormal de probabilidade de ocorrência de Magnésio no Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	244
Figura 4.17 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	246
Figura 4.18 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Sulfato Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	248
Figura 4.19 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do bicarbonato Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	249
Figura 4.20 – Histograma de frequência e curvas ajustadas (lognormal e normal) de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	251
Figura 4.21 – Histogramas de frequência e curvas lognormais ajustadas de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	252
Figura 4.22 – Histogramas de frequência e curvas lognormais ajustadas de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	254
Figura 4.23 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	256

Figura 4.24 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	258
Figura 4.25 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	260
Figura 4.26 – Diagrama mostrando que a água subterrânea do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho contém 99,7% da composição isotópica das águas de chuva, sugerindo que a recarga provém das precipitações, não havendo sinais de recarga fluvial proveniente do rio Madeira.....	264
Figura 4.27 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, segundo os dados de trício de 7 (sete) amostras coletadas.....	265
Figura 4.28 – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.....	266
Figura 4.29 – Classificação das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.....	269
Figura 4.30 – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.....	270
Figura 4.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.....	272
Figura 4.31b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.....	274
Figura 4.31c – Água bicarbonatada magnésiana classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.....	275
Figura 4.31d – Águas bicarbonatadas cálcica classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.....	275
Figura 4.31e – Água sulfetada sódica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.....	276
Figura 4.31f – Água cloretada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.....	276

Figura 4.32a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.	277
Figura 4.32b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.	280
Figura 4.32c – Água bicarbonatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.	281
Figura 4.32d – Águas bicarbonatadas magnesiana classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.	281
Figura 4.32e – Água cloretada mista classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.	282
Figura 4.32f – Água cloretada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.	282
Figura 4.33 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.	283
Figura 4.34 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.	284
Figura 4.35 – Classificação das águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, para fins de irrigação – Abril de 2012.	285
Figura 4.36 – Classificação das águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, para fins de irrigação – Outubro de 2012.	286
Figura 5.1 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Barreiras, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.	298
Figura 5.2 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Barreiras, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.	298
Figura 5.3 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	311
Figura 5.4 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.	313

Figura 5.5 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	314
Figura 5.6 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	316
Figura 5.7 – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Barreiras, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).....	318
Figura 5.8 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	319
Figura 5.9 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	320
Figura 5.10 – Diagrama pH versus Eh (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Barreiras (temperatura <i>in situ</i> variou de 25,9 a 31,5°C) nas duas campanhas de amostragem.....	322
Figura 5.11 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	323
Figura 5.12 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	325
Figura 5.13 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	327
Figura 5.14 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	328
Figura 5.15 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	329
Figura 5.16 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	331
Figura 5.17 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sulfato Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	332

Figura 5.18 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	334
Figura 5.19 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	335
Figura 5.20 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	337
Figura 5.21 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	339
Figura 5.22 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	340
Figura 5.23 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	342
Figura 5.24 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	344
Figura 5.25 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Barreiras, segundo o dado de trício de 1 (uma) amostra coletada.....	345
Figura 5.26 – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Barreiras.....	346
Figura 5.27 – Classificação das águas do aquífero Barreiras coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.....	349
Figura 5.28 – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Barreiras, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012....	350
Figura 5.29a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Barreiras.....	352
Figura 5.29b – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Barreiras.	353
Figura 5.29c – Água sulfatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Barreiras.....	354
Figura 3.30a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras.....	355

Figura 3.30b – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras.	357
Figura 3.30c – Águas cloretadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras.	357
Figura 3.30d – Água sulfatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras.	358
Figura 3.30e – Água bicarbonatada sódica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras.	358
Figura 5.31 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Barreiras no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.	359
Figura 5.32 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Barreiras no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.	360
Figura 5.33 – Classificação das águas do Aquífero Barreiras, para fins de irrigação – Abril de 2012.	361
Figura 5.34 – Classificação das águas do Aquífero Barreiras, para fins de irrigação – Outubro de 2012.	362
Figura 6.1 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Pirabas, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.	371
Figura 6.2 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Pirabas, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.	372
Figura 6.3 – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Pirabas, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).	388
Figura 6.4 – Diagrama <i>pH versus Eh</i> (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Pirabas (<i>T in situ</i> variou de 27,6 a 41,7°C) nas duas campanhas de amostragem.	391
Figura 6.5 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Pirabas, segundo o resultado de trício de 1 (uma) amostra coletada.	402
Figura 6.6 – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Pirabas.	403
Figura 6.7 – Classificação das águas do aquífero Pirabas, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.	406
Figura 6.8 – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Pirabas, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.	407

Figura 6.9a – Água sulfatada cálcica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Pirabas.	409
Figura 6.9b – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Pirabas.	409
Figura 6.9c – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Pirabas.	410
Figura 6.9d – Água bicarbonatada sódica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Pirabas.	411
Figura 6.9e – Água cloretada cálcica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Pirabas.	411
Figura 6.10a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Pirabas.	412
Figura 6.10b – Água cloretada sódica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Pirabas.	413
Figura 6.11 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Pirabas no período chuvoso (abril de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.	414
Figura 6.12 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Pirabas no período de estiagem (outubro de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.	415
Figura 6.13 – Classificação das águas do aquífero Pirabas para fins de irrigação – abril de 2012.	416
Figura 6.14 – Classificação das águas do aquífero Pirabas para fins de irrigação – outubro de 2012.	417
Figura 7.1 – Classificação das águas do aquífero Monte Alegre no período chuvoso (abril de 2012), segundo o diagrama Triangular de Piper.	436
Figura 7.2 – Classificação das águas do aquífero Monte Alegre no período seco (outubro de 2012), segundo o diagrama triangular de Piper.	437
Figura 7.3 – Água sulfatada sódica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Monte Alegre.	438
Figura 7.4 – Água cloretada sódica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em outubro de 2012 no aquífero Monte Alegre.	438
Figura 7.5 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre no período chuvoso (abril de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.	439

Figura 7.6 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre no período de estiagem (outubro de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	440
Figura 7.7 – Classificação das águas do aquífero Monte Alegre para fins de irrigação – abril de 2012.....	441
Figura 7.8 – Classificação das águas do aquífero Monte Alegre para fins de irrigação – outubro de 2012.....	442
Figura 8.1 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Itaituba, segundo o resultado de trício.....	461
Figura 8.2 – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Itaituba.....	463
Figura 8.3 – Classificação das águas do aquífero Itaituba no período chuvoso (abril de 2012), segundo o diagrama Triangular de Piper.	466
Figura 8.4 – Classificação das águas do aquífero Itaituba no período seco (outubro de 2012), segundo o diagrama triangular de Piper.	467
Figura 8.5 – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Itaituba.	468
Figura 8.6a – Água bicarbonatada cálcica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em outubro de 2012 no aquífero Itaituba.	468
Figura 8.6b – Água cloretada sódica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em outubro de 2012 no aquífero Itaituba.	468
Figura 8.7 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Itaituba no período chuvoso (abril de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.	469
Figura 8.8 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Itaituba no período de estiagem (outubro de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.	470
Figura 8.9 – Classificação das águas do aquífero Itaituba para fins de irrigação – abril de 2012.....	471
Figura 8.10 – Classificação das águas do aquífero Itaituba para fins de irrigação – outubro de 2012.....	472
Figura 9.1 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso, com o predomínio de cátions.	482
Figura 9.2 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período de estiagem, com o predomínio de cátions.	482
Figura 9.3 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), segundo os dados de trício de 02 (duas) amostras coletadas.	499

Figura 9.4 – Classificação das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) coletadas no período chuvoso (abril de 2012), segundo o diagrama Triangular de Piper.....	502
Figura 9.5 – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.....	503
Figura 9.6a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul).....	505
Figura 9.7a – Águas cloretadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul).....	506
Figura 9.7b – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul).....	506
Figura 9.8 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	507
Figura 9.9 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	508
Figura 9.10 – Classificação das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) para fins de irrigação – Abril de 2012.....	509
Figura 9.11 – Classificação das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) para fins de irrigação – Outubro de 2012.....	510
Figura 10.1 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos da PHA, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	517
Figura 10.2 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH <i>in situ</i> da PHA, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	519
Figura 10.3 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza da PHA, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	520
Figura 10.4 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato da PHA, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	522
Figura 10.5 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro da PHA, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.....	523

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1.1 – Kit's de coletas usados em campo para as amostragens de água dos aquíferos da PHA, nas duas campanhas. **60**

1 - Introdução

1.1 – Objetivo do Estudo

A qualidade da água segundo Gonçalves & Giampá (2006) refere-se à composição de uma amostra, cuja classificação, a depender do objetivo a ser alcançado, é feita utilizando-se vários critérios. Uma simples classificação, relacionando a concentração de alguns constituintes presentes, pode ser suficiente para avaliar a qualidade da água para determinado uso. Entretanto, considerar as interações geoquímicas naturais é fundamental para a interpretação dos processos que controlam o quimismo da água. Na avaliação da qualidade, as impurezas presentes são retratadas por suas características físicas, químicas e biológicas, que são traduzidas em termos de parâmetros que permitem classificar a água por seu conteúdo mineral, caracterizar a sua potabilidade e apontar as anomalias de substâncias tóxicas.

A Resolução CONAMA 396/2008 considera que os aquíferos se apresentam em diferentes contextos hidrogeológicos e podem ultrapassar os limites de bacias hidrográficas, e que as águas subterrâneas possuem características físicas, químicas e biológicas intrínsecas, com variações hidrogeoquímicas, sendo necessário que o seu enquadramento em classes de qualidade seja pautado nessas especificidades.

A caracterização geoquímica das águas subterrâneas visa conhecer a composição das águas a partir dos tipos e quantidades de íons dissolvidos, para estabelecer relações com a geologia do ambiente e da atmosfera. De modo geral, a composição das águas apresenta variabilidade espacial e temporal, o que ressalta a importância do monitoramento contínuo ou sazonal (Enzweiler, 2010).

Desse modo, com o intuito de avaliar a potabilidade das águas subterrâneas de alguns dos aquíferos que compõe a Província Hidrogeológica Amazonas (PHA), bem como, a presença dos elementos nela dissolvidos, foram realizadas duas campanhas de amostragem, uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período de estiagem (outubro de 2012), com seis meses de intervalo, nas cidades de Almeirim, Barcelos, Belém, Coari, Cruzeiro do Sul, Eirunepé, Fonte Boa, Humaitá, Itaituba, Lábrea, Macapá, Manaus, Parintins, Porto Velho, Rio Branco, Santarém, Tabatinga e Tefé (**figura 1.1**).

O monitoramento em ambas as campanhas de amostragem foi composto de análises físico-químicas, por meio dos parâmetros: cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH *in situ*, pH a 20°C, potencial redox (Eh), alcalinidade, dureza, sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, sulfato, carbonato, bicarbonato, nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio orgânico, nitrogênio total kjeldahl, nitrogênio total, ferro e manganês; e análises bacteriológicas, através dos parâmetros Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*). O quantitativo de poços analisados nas duas campanhas de amostragem, as cidades e seus respectivos aquíferos podem ser verificados na **tabela 1.1**.

Na segunda campanha de amostragem, além dos exames supracitados, também foram realizadas análises dos metais pesados: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco; BTEX formado pelo benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (orto, meta e para); Fenóis; e Isótopos ambientais: deutério, oxigênio-18, trício e carbono-14.

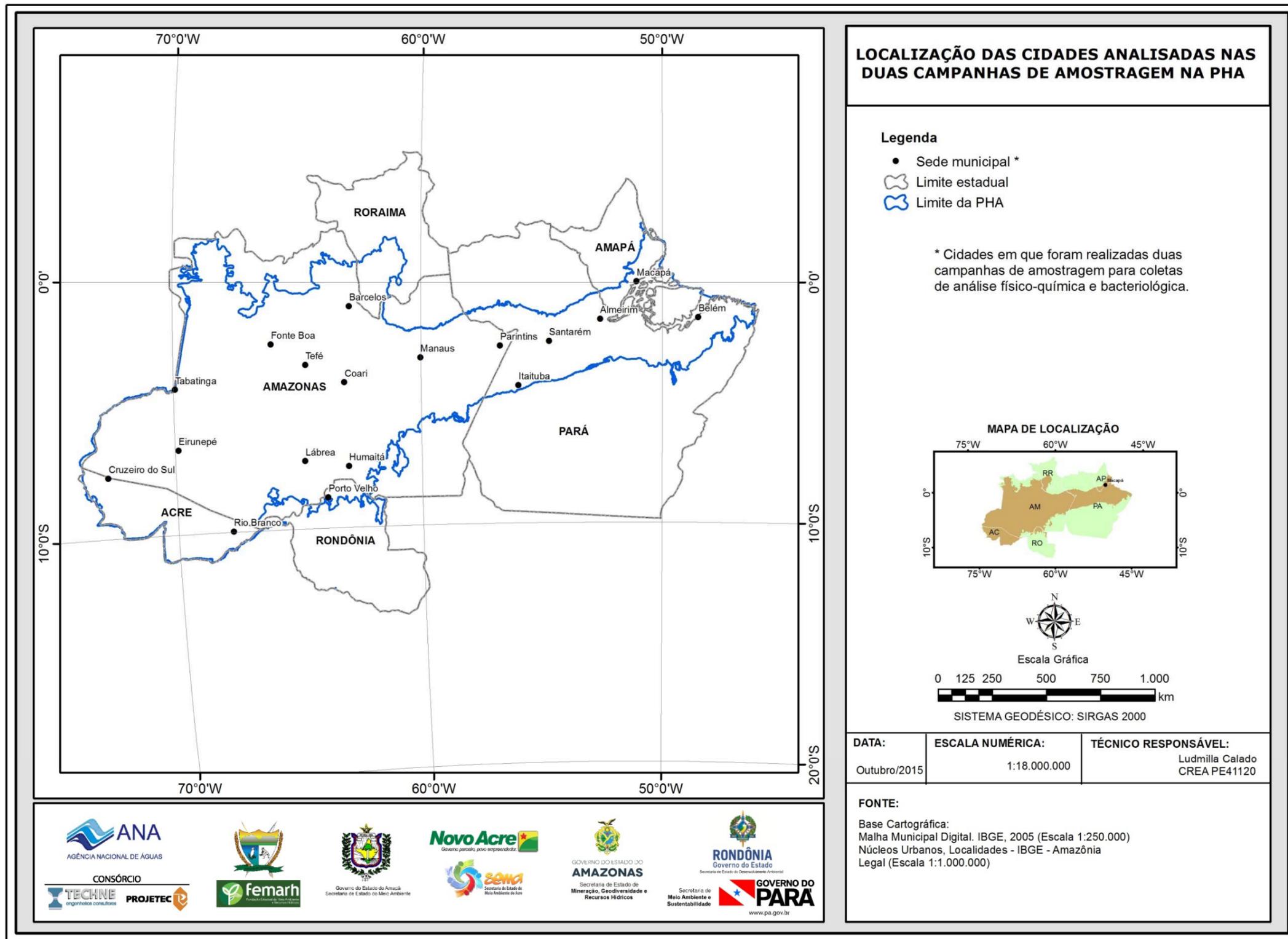


Figura 1.1 – Localização das cidades analisadas nas duas campanhas de amostragem na PHA.

Tabela 1.1 – Quantitativos de poços analisados, cidades e seus respectivos aquíferos nas duas campanhas de amostragem na PHA.

Aquífero	Cidades	UF	Quantidade de poços analisados						
			Análise Físico-química e bacteriológica		Btex, Fenóis e Metais pesados *	Isótopos Ambientais *			
			Coleta 1	Coleta 2		Trício	Deutério	Oxigênio-18	Carbono-14
Aluvial	Belém	PA	2	2	-	-	-	-	-
	Itaituba	PA	2	2	-	1	1	1	1
	Eirunepé	AM	5	5	-	2	2	2	-
	Tabatinga	AM	15	15	5	6	3	3	1
Total			24	24	5	9	6	6	2
Rio Branco	Rio Branco	AC	30	30	10	7	4	4	-
Total			30	30	10	7	4	4	0
Içá	Barcelos	AM	5	5	-	2	2	2	1
	Coari	AM	5	5	-	2	1	1	1
	Lábrea	AM	5	5	-	2	2	2	-
	Tefé	AM	5	5	-	2	2	2	-
	Fonte Boa	AM	5	5	-	2	2	2	-
	Humaitá	AM	5	5	-	2	2	2	1
Total			30	30	0	12	11	11	3
Tucunará	Macapá	AP	30	30	10	7	4	4	2
Total			30	30	10	7	4	4	2
Alter do Chão	Almeirim	PA	5	5	-	2	2	2	-
	Manaus	AM	30	30	-	2	3	3	4
	Parintins	AM	5	5	-	2	2	2	-
	Santarém	PA	30	30	10	7	4	4	4
Total			70	70	10	13	11	11	8
Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	Porto Velho	RO	30	30	11	4	1	1	1
Total			30	30	11	4	1	1	1
Barreiras	Belém	PA	18	18	-	1	1	1	1
Total			18	18	0	1	1	1	1
Pirabas	Belém	PA	10	10	0	1	1	1	2
Total			10	10	0	1	1	1	2
Monte Alegre	Itaituba	PA	1	1	0	-	-	-	-
Total			1	1	0	0	0	0	0
Itaituba	Itaituba	PA	2	2	0	1	1	1	1
Total			2	2	0	1	1	1	1
Inominado	Cruzeiro do Sul	AC	5	5	-	2	2	2	-
Total			5	5	0	2	2	2	0

* Realizada apenas na segunda coleta.

Em atendimento aos itens 6.4.2.1 e 6.4.3 dos Termos de Referência (TDRs), foram selecionados 250 (duzentos e cinquenta) poços para análises com o objetivo de realizar uma caracterização hidrogeoquímica dos aquíferos Aluvial,

Rio Branco, Içá, Tucunaré, Alter do Chão, Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, Barreiras, Pirabas, Monte Alegre, Itaituba e Inominado (Cruzeiro do Sul) inseridos na Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil, visando, sobretudo proposições para a elaboração de projeto para proteção ambiental e gestão sustentável das águas subterrâneas na Região Amazônica nos 6 (seis) países que compõem as províncias hidrogeológicas Amazonas e Orinoco: Bolívia, Brasil, Equador, Colômbia, Peru e Venezuela.

Além dos aquíferos analisados neste relatório sob o ponto de vista hidrogeoquímico existem vários outros na PHA que não foram estudados, tais como: o aquífero confinado Javari, que ocorre em profundidade na bacia do Solimões; e o aquífero Divisor, também confinado, presente em plataformas na bacia do Acre. Esses importantes aquíferos, de extensão regional estão inseridos no Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB) em profundidades até 1.000 m.

Na região de estudo também são encontradas unidades aquíferas, sobretudo intercalações areníticas, de importância local, na sequência paleozoica aflorante e que se distribuem pelos grupos: Trombetas (Formações Autás-Mirim, Nhamundá e Pitinga), Urupadi (Formações Maecuru e Ererê), Curuá (Formações Nambi e Panacu) e Tapajós (Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda).

As sequências arenosas das formações cretácicas da bacia do Acre (Capanaua, Moa, Rio Azul, Divisor e Ramon) se encontram em profundidades superiores a 1.400 m ou afloram na Serra do Divisor, onde as suas águas subterrâneas escoam para o Peru.

1.2 – Critérios de seleção para as amostragens

Como resultado do levantamento dos dados previsto no **item 6.2.1** dos TDRs, foram selecionados pela Consultora em comum acordo com a CTAF - Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização do Projeto PHA, os poços para as análises quantitativa e qualitativa dos aquíferos da PHA.

Para a seleção dos poços foram adotadas as 07 (sete) condições apresentadas no **item 6.4.2.1** dos TDRs, quais sejam:

1. Devem ser predominantemente poços produtores;
2. Deve-se ter a anuência do proprietário para a coleta no poço;
3. Deve captar prioritariamente um sistema aquífero único;
4. Deve estar distribuído o mais uniformemente possível em relação aos demais, de modo a constituírem uma amostragem representativa da região estudada;
5. Os poços devem possuir perfil construtivo e litológico;
6. Os poços devem ser georreferenciados com GPS com altímetro barométrico (precisão planimétrica mínima de 1,0 metro; precisão altimétrica mínima de 3,0 metros);
7. Os poços devem ser equipados com bomba e ligados a rede de energia.

A seleção propriamente dita para as 18 cidades inseridas na PHA foi feita através de consulta a uma macro em VBA Excel, aplicada à matriz do cadastro

geral (SIG ANA PHA 2013), através da qual foram selecionados todos os poços com o maior número de critérios atendidos, na área de estudo.

Em relação às análises de metais pesados, BTEX e Fenóis também se observou o critério do poço estar situado em locais próximos de potenciais fontes de contaminação como, por exemplo, indústrias de transformação, postos de combustível, estabelecimentos comerciais, entre outros, em consonância com o **item 6.4.3.2** dos TDRs.

Quanto à seleção dos poços para as análises de isótopos ambientais estáveis e radioativos foram feitas pela Consultora em definição conjunta com a CTAF, conforme consta no **item 6.4.3.2** dos TDRs, sempre com a preocupação de não coletar amostras em poços equipados com sistemas de bombeamento *air-lift* para evitar possíveis alterações nos resultados das análises, devido à presença de bolhas de ar.

1.3 – Procedimentos de Coleta

Para a coleta em campo nas 18 cidades da PHA, o Laboratório Bioagri forneceu aos grupos, acondicionados em caixas de isopor, cinco kit's de coletas, cada um deles para a amostragem de um poço, contendo: quatro frascos para coletas das análises físico-químicas, um frasco para a coleta das análises bacteriológicas, uma esponja dupla face, dois pares de luvas, uma fita crepe, três sacos plásticos grandes, as fichas do laboratório para as informações das coletas e dois kit's extras para um eventual problema durante a amostragem, como pode ser observado na **foto 1.1**.



Foto 1.1 – Kit's de coletas usados em campo para as amostragens de água dos aquíferos da PHA, nas duas campanhas.

Nas coletas das análises físico-químicas e bacteriológicas foram utilizados cinco frascos de polietileno para cada poço, sendo um de 500 mL, dois de 250 mL, um de 150 mL e um de 100 mL. Todos os frascos foram abertos somente

no ato da coleta, preenchidos com as amostras de água e imediatamente preservados em refrigeração e suas análises realizadas no prazo de 48 horas. Nos frascos para as análises químicas da série nitrogenada (nitrogênio amoniacal e nitrogênio Kjeldahl Total), além das preservações das amostras em refrigeração, foram adicionados volumes de ácido sulfúrico.

Para as análises bacteriológicas, todos os frascos foram autoclavados, contendo uma partilha de tiosulfato de sódio, sendo acondicionado em isopor com gelo para preservação, logo após a coleta, pelo prazo de 24 horas, até a realização da análise.

Para as análises isotópicas de ^{18}O e ^2H , as amostras foram armazenadas em frascos plásticos (100 mL) de polipropileno, tendo-se o cuidado de não deixar qualquer bolha permanecer no recipiente para evitar alterações nos resultados.

1.4 – Métodos de Análise

As metodologias de análise utilizadas pelo laboratório Bioagri Ambiental para os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos foram os seguintes:

Cor - POP PA 012 (Rev.02) / SMWW 2120 C;

Condutividade Elétrica - POP PA. 014 (Rev.00) / SMEWW 2510;

Dureza - POP PA 027 / SMWW 2340 A, B, C;

Turbidez - POP PA 013 (Rev.03) / SMWW 2130 B;

Sólidos Totais Dissolvidos (STD) - POP PA 009 (Rev.04) / SMWW 2540C;

pH - POP PA 011 (Rev.03) / SMWW 4500 – H+ B;

Alcalinidade - POP PA 026 / SMWW 2320B;

Bicarbonato - SMEWW 4500-CO₂;

Ânions - POP PA 032 / USEPA SW 846 – 300.1. *Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography*;

Metais (ICP-MS) - POP PA 038 (Rev.01) / SMWW 3125 B, *Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry/USEPA 6020*;

Nitrogênio Total - Soma do NTK, NO₃ e NO₂;

Nitrogênio Total Kjeldahl - POP PA 007 / SMEWW 4500 Norg C;

Nitrogênio Amoniacal - POP PA 005 /SMEWW 4500 - NH₃- D- *Ammonia - Selective Electrode Method*;

Coliformes - POP PA 040 (Ver. 05) / SMEWW 9223 B;

Carbono 14 - *Accelerate Mass Spectrometry (AMS)*.

O controle de qualidade do laboratório se baseou na Resolução CONAMA 396/2008 para o limite quantitativo praticável padrão para todas as amostras das águas subterrâneas que foram submetidas às análises físico-químicas e bacteriológicas. O controle de qualidade dos metais totais das amostras foi realizado pelo Branco de Análise para sódio, potássio, cálcio e magnésio, todos com limites quantificáveis de 10 µg/L; e manganês e ferro nos limites quantificáveis de 0,1 µg/L; e os resultados analisados por *Inductively Coupled*

Plasma (ICP/MS) foram ($< 10 \mu\text{g/L}$) para sódio, potássio, cálcio e magnésio e ($< 0,1 \mu\text{g/L}$) para manganês e ferro.

No ensaio do Branco de Análise, à amostra controle e às amostras dos 30 poços foram adicionados 50% de ítrio e recuperados por análise de (ICP/MS) e todos ficaram na faixa do limite aceitável que é de 70 a 130%. Enquanto que para os ensaios de recuperação analisados por ICP/MS foram adicionados $10 \mu\text{g/L}$ dos metais (lítio, vanádio, cobalto, zinco, molibdênio, antimônio e chumbo) e foram recuperados para cada metal 80% das alíquotas adicionadas que fica na faixa aceitável de recuperação que está o intervalo de (80 a 120%).

O Limite de Quantificação da Amostra (LQ) pode variar no mesmo parâmetro, pois consiste no resultado obtido entre o Limite de Quantificação do Método (LQM), multiplicado pelo fator de preparo da amostra, multiplicado pela correção da base seca, quando aplicável.

No ensaio de Carbono-14 os resultados são apresentados no padrão convencional de radiocarbono Idade Anos BP (*before present*), que representa o "radiocarbono medido Idade BP", de duas maneiras: Percentual de Carbono Moderno (pMC), que indica a média do resultado de biomassa (expressa em %), para menos de 200 anos BP; e Fração de Carbono Moderno (Fmdn).

1.5 – Modelagem Geoestatística

Nas ciências da terra os dados são tipicamente distribuídos no espaço e/ou no tempo. O conhecimento do valor de um atributo (por exemplo, o teor de sódio), é de pouco ou nenhum interesse a menos que a data e o local da medida sejam conhecidos e possam ser incorporados à análise dos dados.

A interpretação dos dados hidrogeoquímicos obtidos através das análises realizadas pelo Laboratório da Bioagri Ambiental nas duas campanhas de amostragem sazonal levadas a efeito no ano de 2012, com intervalo de 6 (seis) meses, utilizará apenas estatísticas *univariadas*, sendo numa primeira etapa a *univariada temporal* e em seguida a *univariada espacial*, sendo essa última aplicada na elaboração dos mapas de zoneamento. Antes, porém, julga-se conveniente apresentar alguns conceitos geoestatísticos, segundo Goovaerts (1997), nos quais essa análise se baseia:

Terminologia

- **Atributo** - É uma propriedade física que pode ser um atributo *contínuo*, simbolizado por letras minúsculas, tais como, *z* ou *s*. Um exemplo é a concentração de uma substância dissolvida na água, medida numa escala quantitativa de valores (teor de sulfato). O atributo também pode ser de *categoria*, caso em que somente assume um limitado número de estados, por exemplo, tipos de rocha (sedimentar, metamórfica, etc) ou usos do solo (agricultura, pecuária, etc).
- **Variável** - Simbolizada por letras maiúsculas, tais como *Z* ou *S*, é definida como o conjunto de possíveis valores ou estados que o atributo *z* ou *s* pode assumir numa região A (área de estudo) em um local com vetor de posição ou de coordenadas \mathbf{u} . Nesse último caso, a variável é expressa por $Z(\mathbf{u})$ ou $S(\mathbf{u})$.

- **Indivíduo** - O valor do atributo é medido em uma amostra física, por exemplo, uma amostra de água subterrânea coletada em um poço durante um estudo de campo. Na estatística univariada um atributo contínuo medido nessa amostra (teor de cálcio) é um indivíduo, interpretado como *um ponto*, sem levar em conta a sua localização no espaço.
- **População** - É definida como o conjunto das (infinitas) medidas do atributo de interesse, passíveis de serem realizadas na área de estudo. Já a coleção ou conjunto finito de valores (por exemplo, 30 valores) medidos do atributo (teor de cálcio) é designado conjunto amostral ou simplesmente *amostra*.
- **Parâmetro** - Parâmetros são quantidades constantes de um modelo, por exemplo, o parâmetro ou estatística "*média*" de uma função de distribuição lognormal que modela um histograma.

Estatística Descritiva

Feições importantes de uma distribuição de frequência são o seu valor central e as medidas de seu desvio ou espalhamento e simetria. O valor central, nas distribuições ditas Normais (ou simétricas) é a média aritmética. Nas distribuições muito assimétricas o valor central é a mediana, que é o valor correspondente a uma frequência acumulada de 50%, isto é, o valor que separa a distribuição em duas metades: uma de valores mais baixos e uma de valores mais altos em relação à média.

Distribuição de frequência

Seja $\{z(\alpha), \alpha = 1, \dots, n\}$ o conjunto de medidas do atributo contínuo z nos n indivíduos α . Nesse contexto a posição real desses dados não é levada em conta. A distribuição de valores contínuos é tipicamente revelada por um histograma com a faixa de valores dos dados discretizada em certo número de classes de igual largura e a proporção relativa dos dados dentro de cada classe expressa pela altura das barras. Essas proporções relativas definem as frequências de classe e, portanto, o histograma reflete a distribuição de frequência dos z -valores para uma dada definição de classes.

Assim sendo, a modelagem dos histogramas de frequência dos conjuntos amostrais dos atributos medidos nas duas campanhas de coleta de água (período chuvoso e período seco), através de funções de distribuição de probabilidade permite avaliar com risco calculado os valores esperados de cada atributo de acordo com o período de coleta. Caso sejam constatadas diferenças, admite-se que elas seguramente serão indicativas de influências da sazonalidade. Detalhes complementares são fornecidos no texto que segue, visando justificar o procedimento adotado neste trabalho.

Descrição Espacial e Temporal Univariada

Na estatística clássica os valores de dados observados são supostos aleatórios e não existe correlação entre eles. Na geoestatística admite-se que o campo das medidas (região A) é *estatisticamente estacionário*, o que equivale a dizer que a diferença entre os valores medidos entre dois pontos só depende da distância entre eles, tendo-se como paradigma que valores de atributos em

pontos mais próximos são mais semelhantes do que valores em pontos mais afastados.

Este é o paradigma da técnica de inferência conhecida por *krigagem*, que permite modelar a autocorrelação em função da distância. Assim, dentro de uma região A para cada posição $\mathbf{u} \in A$, o valor do atributo ambiental $Z(\mathbf{u})$ é modelado como uma variável aleatória (Deutsch & Journel, 1998; Felgueiras, 1999). Na modelagem geoestatística a variável aleatória $Z(\mathbf{u})$ pode assumir diferentes valores para o atributo e, cada um deles, com uma probabilidade de ocorrência associada. Nas posições amostradas $\mathbf{u}_\alpha, \alpha = 1, 2, \dots, n$ os valores $Z(\mathbf{u}_\alpha)$ são considerados determinísticos ou, ainda, podem ser considerados como variáveis aleatórias cujo valor medido tem uma probabilidade de 100% de ocorrer. Nas posições não amostradas a incerteza associada aos valores de $Z(\mathbf{u})$ é modelada pela função de distribuição de probabilidade da variável aleatória $Z(\mathbf{u})$. Da mesma maneira os valores determinísticos $Z(\mathbf{u}_\alpha)_t$ medidos nas duas campanhas, nos tempos t_1 (abril de 2012) e t_2 (outubro de 2012), estão associados aos valores desconhecidos $Z(\mathbf{u}, t)$, em uma data qualquer, cuja incerteza é modelada a partir dos respectivos histogramas de $Z(\mathbf{u}_\alpha, t)$ pela função de distribuição de probabilidade da variável aleatória $Z(\mathbf{u}, t)$. Assim é possível comparar com o mesmo nível de risco os valores esperados em ambos os conjuntos de dados correspondentes, respectivamente, ao período chuvoso e ao período seco.

1.6 – Modelagem Estatística de Parâmetros Físico-Químicos com Valores Abaixo do Limite de Detecção

Sem dados numéricos não é possível descrever a estatística nem construir histogramas de frequência para modelagem geoestatística da lei de distribuição de probabilidade de um atributo. Na **tabela 1.2** se encontram os parâmetros físico-químicos analisados nas 18 cidades da PHA, os limites de detecção (LD) e os valores numéricos ligeiramente menores adotados como aproximação dos LD, para permitir a descrição estatística e a modelagem geoestatística dos resultados obtidos.

Tabela 1.2 – Parâmetros analisados, limites de detecção (LD) e valores numéricos adotados para estatística descritiva dos resultados das coletas nos Aquíferos da PHA nas duas campanhas.

Parâmetros analisados	Unidade	LD (mg/L)	Valor Numérico Adotado
Cor	uH	< 5	4,9
Turbidez	NTU	< 0,1	0,09
Condutividade elétrica	µS/cm	-	-
Temperatura	°C	-	-
STD	mg/L	< 5	4,9
Alcalinidade Total	mg/L	< 5	4,9
pH	-	-	-
Eh	mV	-	-
Sódio	mg/L	< 0,01	0,009
Potássio	mg/L	< 0,001	0,0009
Cálcio	mg/L	< 0,01 < 0,001	0,009 0,0009
Magnésio	mg/L	-	-
Cloreto	mg/L	< 0,5	0,49
		< 1	0,9
		< 2	1,9
Sulfato	mg/L	< 0,5	0,49
		< 1	0,9
Bicarbonato	mg/L	< 0,5	0,49
Dureza	mg/L	< 5,0	4,9
Nitrato	mg/L	< 0,1	0,09
		< 0,2	0,19
Nitrito	mg/L	< 0,02	0,019
		< 0,01	0,009
		< 0,04	0,039
Amônia (Nitrogênio Amoniacal)	mg/L	< 0,1	0,09
Nitrogênio Orgânico	mg/L	< 0,1	0,09
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	< 0,1	0,09
Nitrogênio Total	mg/L	< 0,5	0,49
Ferro	mg/L	< 0,001	0,0009
		< 0,0001	0,00009
Manganês	mg/L	< 0,001	0,0009
		< 0,0001	0,00009
Índice de fenóis	mg/L	< 0,001	0,0009
Bário	mg/L	< 0,001	0,0009
Níquel	mg/L	< 0,001	0,0009
Zinco	mg/L	< 0,001	0,0009
Cádmio	mg/L	< 0,001	0,0009

Tabela 1.2 – Parâmetros analisados, limites de detecção (LD) e valores numéricos adotados para estatística descritiva dos resultados das coletas nos Aquíferos da PHA nas duas campanhas (Continuação).

Parâmetros analisados	Unidade	LD (mg/L)	Valor Numérico Adotado
Chumbo	mg/L	< 0,001	0,0009
Cobre	mg/L	< 0,001	0,0009
Cromo	mg/L	< 0,001	0,0009
Mercurio	mg/L	< 0,0001	0,00009
Arsênio	mg/L	< 0,001	0,0009
Benzeno	mg/L	< 0,001	0,0009
Tolueno	mg/L	< 0,001	0,0009
Etilbenzeno	mg/L	< 0,001	0,0009
o-Xileno	mg/L	< 0,001	0,0009
m,p-Xilenos	mg/L	< 0,002	0,0019
E.Coli	Presente = 1 e Ausente = 0	-	-
C. Totais		-	-

No que se refere, por exemplo, ao parâmetro Cor, os resultados obtidos no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso mostraram em 100% (30/30) das amostras coletadas, valores de cor < 5 uH, ou seja, inferiores ao LD. Dessa forma, para fins de realização da estatística descritiva o resultado desconhecido (< 5) foi substituído por um valor numérico próximo (no caso, 4,9), que atende matematicamente a condição apresentada na análise, embora o verdadeiro valor do parâmetro seja desconhecido.

Com 100% de valores de cor abaixo do LD, os parâmetros média, mediana, mínimo, máximo, são todos iguais a 4,9 uH. A rigor, o erro amostral é nulo, ou seja, $(\bar{X} - \mu = 0)$ indicando que a média da amostra é igual à média da população. O desvio padrão, o erro padrão e a assimetria são nulos. Não obstante, essa amostra pode ter a sua estatística descritiva, como se vê na **tabela 1.3**, caracterizada de forma aproximada, com um desvio padrão de 2,71 E-15, isto é, um desvio muito pequeno, próximo de zero, capaz de assegurar que todos os valores tenham a mesma probabilidade (**tabela 1.4**). Notar que, como só existe um valor, não se dispõe de um histograma de frequência para ajuste da lei de distribuição, mas apenas de um gráfico de barra ou histograma fictício construído com a aproximação usada, ao qual não há como ajustar uma lei de frequência. Havendo, porém, um único valor quantificado, já se pode caracterizar um histograma e uma lei de distribuição de probabilidade.

Tabela 1.3 – Estatística descritiva com 100% de valores abaixo do limite de detecção da cor, substituídos por um valor numérico.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Cor-1	30	4,9	4,9-1,01E-15	4,9+1,01E-15	4,9	4,9	4,9	2,7E-15	4,9E-16	-1,05

Tabela 1.4 – Distribuição de probabilidade da cor para 100% de valores abaixo do limite de detecção, substituídos por um valor numérico.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cor-1	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9

A modelagem geoestatística concebida para avaliar o efeito da sazonalidade apresentou em alguns parâmetros um viés ou bias estatístico, que se caracteriza pela indicação de duas tendências de sazonalidade (seco e chuvoso), com diferentes riscos. Por exemplo, a CE no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho apresentou com 50 e 20% de risco, maior valor no período chuvoso e com riscos de 10, 5, 2 e 1%, maior valor no período seco. Nesses casos, onde a modelagem não é conclusiva a respeito da sazonalidade, considerou-se como sazonal o período indicado pela maior média e mediana na estatística descritiva.

1.7 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações, pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, por meio do *software Qualigraf* desenvolvido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2010), o qual determina o Erro Prático (Ep) segundo as metodologias de Custodio & Llamas (1983) no balanço iônico nº 1 e Logan (1965) no balanço iônico nº 2, como mostra a **figura 1.2**.

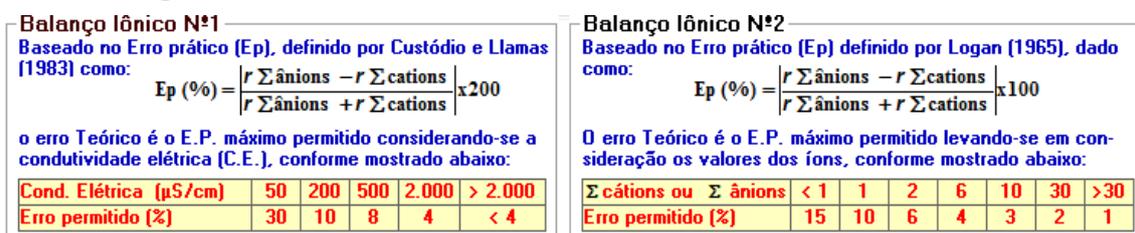


Figura 1.2 – Equações utilizadas no *software Qualigraf* para estimativa do erro prático no balanço iônico, segundo as metodologias de Custodio & Llamas (1983) e Logan (1965).

Segundo essas referências, a metodologia do balanço iônico nº 1 estabelece Ep máximo de 30%, levando em consideração o valor de condutividade elétrica, ao passo que a metodologia do balanço iônico nº 2 define Ep limite de 15% observando os valores de íons.

Altos valores de Ep podem indicar erro analítico, erro de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis, ou águas muito poucas mineralizadas, tais como água da chuva.

1.8 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O Índice de Troca de Bases (ITB), também chamado Índice de Desequilíbrio, permite avaliar o grau de troca iônica ocorrido numa água com base nas relações entre os seus íons. Esse índice foi definido por meio da equação de Schoeller (1962), onde o símbolo *r* representa os valores em meq/L, como pode ser observado abaixo:

$$itb = \frac{rCl - r(Na + K)}{rCl}$$

Nas águas subterrâneas o ITB pode tomar valores positivos ou negativos, em geral, próximos de zero. Quando há abrandamento, ou seja, troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ , o seu valor tende a diminuir enquanto que, se existe endurecimento, tende a crescer.

1.9 - Razões Iônicas

As razões iônicas são as relações entre os íons dissolvidos em uma água que podem guardar certa ligação com o terreno do qual procede à água indicando a ação de fenômenos modificadores, ou sugerindo alguma característica específica.

De acordo com Hem (1985), o estudo de razões iônicas é importante para a classificação e interpretação hidrogeoquímica das águas subterrâneas, para tanto, estabelece as principais razões iônicas e seus significados. Algumas dessas razões (adimensionais) entre íons são expressas em meq/L como indica o símbolo r nas equações apresentadas na **tabela 1.5**.

Tabela 1.5 – Principais razões iônicas e seus significados segundo Hem (1985).

Razões Iônicas	Variações Teóricas	Significado
$\frac{r\text{Mg}^{2+}}{r\text{Ca}^{2+}}$	0,25 a 0,33	Água de circulação em rocha de composição granítica
	0,33 a 1,5	Águas continentais
	> 0,9	Contato com água do mar ou fluxo através de rocha básica; possível influência de terrenos dolomíticos
	> 1	Relações com litotipos ricos em silicatos magnesianos
	± 5	Água do mar
$\frac{r\text{Na}^+}{r\text{Cl}^-}$	< 0,0876	Água do mar; substituição de Na^+ por Ca^{+2} e Mg^{+2}
	< 0,7	Precipitações de sais de Na^+
	> 0,7	Fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas
$\frac{r\text{Cl}^-}{r\text{HCO}_3^-}$	0,5	Fluxo normal para rochas cristalinas
	0,1 a 0,5	Águas continentais
	20 a 50	Água do mar

1.10 - Índice de Langelier

O índice de Langelier, também conhecido como índice de saturação (IS), é utilizado para verificar se uma água está ou não em equilíbrio com a calcita (carbonato de cálcio sólido) $\text{CaCO}_{3(s)}$, dependendo de o seu valor ser positivo ou negativo.

O IS é definido como a diferença entre o pH real (medido) da água e o pH hipotético pH_s (pH de saturação) que a água teria se estivesse em equilíbrio com a calcita $\text{CaCO}_{3(s)}$. A determinação do pH de saturação (pH_s) é feita a partir dos parâmetros de temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), dureza e alcalinidade total.

O IS pode ser obtido por meio da seguinte equação:

$$\text{IS} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

O pH de saturação é calculado pela seguinte equação:

$$\text{pH}_s = 9,3 + A + B - C - D, \text{ sendo:}$$

$A = 0,1 \times \log (\text{STD}) - 1$	$B = -13,12 \times \log (T + 273) + 34,55$
$C = \log (\text{dureza}) - 0,4$	$D = \log (\text{alcalinidade})$

A classificação da tendência das águas de acordo com o IS é apresentada na **tabela 1.6**.

Tabela 1.6 – Faixas do IS segundo Snoeyink & Jenkins (1980).

IS	Possível tendência da água
>0	Água supersaturada - tende a precipitar calcita $\text{CaCO}_{3(s)}$
0	Estável - água em equilíbrio com o $\text{CaCO}_{3(s)}$
<0	Água subsaturada - tende a dissolver a calcita $\text{CaCO}_{3(s)}$

1.11 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas

Os parâmetros físico-químicos, sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cloreto (Cl), sulfato (SO_4), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), pH *in situ* (pH), potencial redox (Eh), alcalinidade total (Alc), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), amônia (NH_3), ferro (Fe), carbonato (CO_3) e bicarbonato (HCO_3) analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação, por meio do *software Assistat* desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (Silva, 2012), o qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação (ρ).

Quanto ao nível de significância, as correlações são classificadas como:

- Não Significativas (“ns” ao nível superior a 5%)
- Significativas (“*” ao nível de 5%)
- Muito Significativas (“***” ao nível de 1%)

As correlações podem ser positivas ($0 < \rho < 1$) ou negativas ($-1 < \rho < 0$). A qualidade das correlações foi classificada em 5 (cinco) categorias, de acordo com as seguintes faixas de valores de ρ :

- Correlação Muito Fraca: positiva ($0 < \rho < 0,2$) ou negativa ($-0,2 < \rho < 0$)
- Correlação Fraca: positiva ($0,2 < \rho < 0,4$) ou negativa ($-0,4 < \rho < -0,2$)
- Correlação Moderada: positiva ($0,4 < \rho < 0,7$) ou negativa ($-0,7 < \rho < -0,4$)
- Correlação Forte: positiva ($0,7 < \rho < 0,9$) ou negativa ($-0,9 < \rho < -0,7$)
- Correlação Muito Forte: positiva ($\rho > 0,9$) ou negativa ($\rho < -0,9$)

1.12 – Influência do Intemperismo Químico Regional na Qualidade das Águas Subterrâneas da Província Hidrogeológica Amazonas - PHA

As considerações a seguir, derivadas de (Snoeyink & Jenkins, 1980), ajudam a entender a formação da composição química dos tipos de águas naturais oriundas de precipitações e, por esse motivo, são úteis para a interpretação dos resultados das análises físico-químicas realizadas na PHA.

Como parte do ciclo hidrológico a água que evapora dos oceanos é transportada para o interior dos continentes. O vapor d'água, durante a sua passagem através da baixa atmosfera, tem a possibilidade de entrar em equilíbrio com os gases ali existentes, cuja composição média está sujeita a variações consideráveis, principalmente de alguns constituintes menores, tais como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), etc. que são produtos de processos de combustão e estão associados com a poluição do ar, em comunidades urbanas e industriais.

Quando precipita sobre a superfície do terreno, a água da chuva entra em contato com rochas, sedimentos, solos, áreas urbanas, animais e plantas. Desse contato decorrem reações químicas que posteriormente modificam a composição da água. As reações químicas dos ácidos da água da chuva (CO_2 , SO_2 e NO_x) com os minerais constituintes das rochas alteram esses minerais através de um processo chamado de **intemperismo químico**. Trata-se de um processo que depende exclusivamente da água.

Os fatores condicionantes deste processo são inúmeros, começando pelo clima, marcado por altas temperaturas e alta pluviosidade associadas a uma vasta cobertura vegetal, incluindo ainda relevo, circulação de água, condições de Eh e pH, variações no nível freático e, sobretudo, tempo de atuação desses fatores.

Na PHA esse processo vem atuando sobre as formações cenozoicas, nas quais se encontram os principais aquíferos, desde o Neomioceno até os dias atuais, ou seja, há milhões de anos, e dele resultaram como produtos: resíduos e solutos.

- **Resíduos:** são elementos “insolúveis” em água, tais como Al^{3+} e Fe^{3+} que dão origem a depósitos de bauxita e laterita, respectivamente, além do quartzo que resulta em areia;
- **Solutos:** são elementos móveis em solução: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4 , HCO_3 , que são lixiviados no processo de intemperismo e quase totalmente (99%) transportados pelos rios, daí porque é de se esperar que na PHA esses íons não mais existam em quantidade significativa nos sedimentos e que hoje estes provenham, sobretudo, da água da chuva e de influências antrópicas, já que todas as amostras foram coletadas em zonas urbanas na PHA.

Portanto, a origem desses solutos nas águas subterrâneas dos aquíferos da PHA, nos quais predominam materiais arenosos, provavelmente pouco se deve ao processo de intemperismo, que praticamente já está consumado. As baixas

concentrações se devem ao fato de os íons provêm quase totalmente da chuva.

Em praticamente toda a PHA, as águas subterrâneas apresentam baixos teores de STD, CE, Ca, Mg, K, Na, CO₃ e HCO₃, mas possuem altos teores de ferro, que afetam 29% das amostras na primeira campanha e 27% na segunda, de forma a ultrapassar o VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011.

Por outro lado, a presença desses teores de ferro na água subterrânea não se deve diretamente ao intemperismo, pois este não gera ferro solúvel e sim à dissolução do Fe₂O₃ existente na laterita (39,34% em peso) pela água de infiltração oriunda da chuva, que possui pH ácido e conforme avaliação de Forti & Moreira-Nordemann (1991) variável na região de floresta de terra firme de 4 a 5,3 na região Amazônica. Santos *et al.* (1981) também verificaram que nas águas dos caules das árvores o pH variou de 5 a 7 e do lençol freático de 3 a 4.

Isso ocorre porque a água da chuva rica em O₂, em interação com o CO₂ da atmosfera, adquire caráter ácido e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica (processos redox) enriquecem o ambiente em CO₂, diminuindo ainda mais o seu pH (Teixeira *et al.*, 2000).

2 – Parâmetros Usados na Avaliação Hidrogeoquímica das Águas dos Sistemas Aquíferos da PHA

2.1 - Cor

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la. Esta redução se dá por absorção de parte da radiação eletromagnética, devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os colóides orgânicos, podem ser mencionados os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Os esgotos domésticos também se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria orgânica em estado coloidal (CETESB, 2009).

Do total de compostos inorgânicos capazes de causar cor na água, os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo.

Para consumo humano, segundo a Portaria do Ministério da Saúde - MS 2914/2011, o valor máximo permitido (VMP) para cor é 15 uH – *Unidade Hazen* (mgPt-Co/L).

2.2 - Turbidez

A turbidez está relacionada com a presença de argila, silte, substâncias orgânicas (por exemplo: húmus) ou inorgânicas (por exemplo: óxidos) finamente divididas, plâncton e algas, indicando o risco de entupimentos de filtros e tubulações. A água subterrânea nas condições em que circula no ambiente subterrâneo é praticamente isenta de turbidez. Valores altos de turbidez em águas subterrâneas coletadas por bombeamento, geralmente ocorrem em poços mal desenvolvidos e são devidos ao carreamento de partículas finas da formação geológica através dos filtros.

As unidades utilizadas para expressar a turbidez são: NTU (*Nefelometric Turbidity Unit*), FTU (*Formazin Turbidity Unit*) ou uT (Unidade de Turbidez), sendo essas unidades correspondentes 1:1 (Celligoi, 1999; Szikszay, 1993).

O VMP da turbidez para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011 é de 5 uT (unidade de Turbidez).

2.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S/cm}$ indicam ambientes impactados (CETESB, 2009).

A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, portanto, a sua medição permite estimar rapidamente a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) presentes na água, usando (por exemplo) uma relação do tipo $STD = aCE$, sendo "a" um coeficiente angular variável de aproximadamente 0,55 a 0,75.

2.4 – Temperatura

Variações de temperatura é parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade (CETESB, 2009).

As águas subterrâneas têm uma amplitude térmica pequena, isto é, de modo geral sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica, exceto quando os aquíferos freáticos são pouco profundos. Em profundidades maiores a temperatura da água é influenciada pelo grau geotérmico local (em média 1°C a cada 30 m).

A temperatura influencia e condiciona uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam.

2.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os sólidos totais dissolvidos (STD) correspondem à massa total dos constituintes minerais presentes na água por unidade de volume. Na maioria das águas naturais, a condutividade elétrica (CE) da água, multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75, gera uma boa estimativa de STD (Suassuna, 2007).

Analiticamente, o STD corresponde a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura de 110 °C. As operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água, sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis. Os valores de STD variam entre 10 mg/L na chuva e menos que 25 mg/L na água em regiões úmidas e rochas pouco solúveis (Celligoi, 1999).

De acordo com Mcneely *et al.* (1979), as águas subterrâneas podem ser classificadas com base nos valores de STD, em doce, ligeiramente salobra e moderadamente salobra (**tabela 2.1**).

Tabela 2.1 - Classificação das águas subterrâneas quanto ao STD, segundo Mcneely *et al.* (1979).

Tipo de água	STD (mg/L)
Doce	> 1.000
Ligeiramente Salobra	> 1.000 - 3.000
Moderadamente Salobra	> 3.000 - 10.000

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu na Resolução CONAMA 357/2005 a classificação das águas para enquadramento em doces (STD ≤ 500 mg/L), salobras (500 < STD ≤ 1.500 mg/L) e salinas (STD > 1.500 mg/L).

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 definem como padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano o valor máximo de 1.000 mg/L de STD.

2.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH (potencial hidrogeniônico) é o logaritmo negativo da atividade do íon hidrogênio, que varia de 0 a 14 e indica a intensidade da acidez ($\text{pH} < 7$), neutralidade ($\text{pH} = 7$) ou alcalinidade ($\text{pH} > 7$) de uma solução aquosa. É uma das ferramentas mais importantes e frequentes utilizadas na análise da água. As águas naturais, frequentemente, possuem pH na faixa de 4 a 9, e a maioria é ligeiramente básica, devido à presença de bicarbonatos e carbonatos dos metais alcalinos e alcalinos terrosos. O pH é controlado pelo sistema CO_2 - HCO_3^- - CO_3^{2-} e em determinadas condições pode contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados (Celligoi, 1999; Parron *et al.*, 2011).

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade.

2.7 – Potencial Redox (Eh)

De acordo com CETESB (2009), a condição biogeoquímica nos sedimentos está, muitas vezes, associada à transferência de elétrons entre as espécies químicas. Tais processos podem definir condições de deficiência de elétrons (meio redutor) ou transferência de elétrons (meio oxidante) e podem ser avaliados por meio de medidas *in situ*, denominadas medidas de potencial redox (Eh).

O equilíbrio de oxidação e redução de um meio é descrito através do conceito de atividade do elétron por pE (ou Eh) definido como:

$$pE = -\log a_{(e)} = -\log \{e\}$$

No diagrama de classificação das águas naturais sob diferentes condições Eh/pH, a água da superfície ou da zona de aeração em contato com a atmosfera apresenta pE alto, onde o meio é oxidante e o ambiente aeróbico. Esse ambiente fica, portanto, na parte mais superior da zona de estabilidade da água. Nele se encontram: a água da chuva e a água dos oceanos. À medida que a água se afasta da superfície em direção ao subsolo, o pE diminui, caracterizando um aumento da atividade eletrônica do meio, até alcançar, na base da zona de estabilidade da água, um ambiente redutor e anaeróbico (Lenzi *et al.*, 2009). Nesse ambiente são encontradas as águas sem circulação em solos saturados; as águas estagnadas de lagos; as águas salgadas ricas em matéria orgânica. Nos aquíferos, a água subterrânea em movimento constitui um ambiente de transição entre esses dois extremos da zona de estabilidade da água (Merkel & Friedrich, 2008).

Segundo Merkel & Friedrich (2008), os diagramas pH-Eh podem ser utilizados como uma primeira aproximação para caracterizar as águas naturais. Todavia, é preciso que se esteja atento para as incertezas inerentes às medidas de Eh em campo, com equipamentos portáteis. Na prática essas medidas,

independente do eletrodo de referência, são bastante problemáticas, pois são afetadas por contaminação e efeitos de memória em todos os tipos de eletrodos.

2.8 – Cátions

2.8.1 - Sódio

O sódio é um elemento químico quase sempre presente nas águas subterrâneas, ocorre em plagioclásio, principalmente albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e é liberado durante o intemperismo destes silicatos (Celligoi, 1999). Os sais formados nestes processos são muito solúveis. Nas águas subterrâneas o teor de sódio varia entre 0,1 e 100 mg/L, sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga. A quantidade de sódio presente na água é um elemento limitante de seu uso na agricultura. Em aquíferos litorâneos, a presença de sódio na água poderá estar relacionada à intrusão da água do mar (Pedrosa & Caetano, 2002).

As águas naturais contêm sódio devido à sua abundância e alta solubilidade de seus sais em água, encontrados na forma iônica (Na^+). Concentrações de sódio em corpos d'água variam consideravelmente, dependendo das condições geológicas do local e das descargas de efluentes (Parron *et al.*, 2011).

A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano 200 mg/L de sódio.

A Resolução CONAMA 396/2008 define nos usos preponderantes da água para consumo humano e recreação, respectivamente, os valores máximos de 200 mg/L e 300 mg/L de sódio.

2.8.2 - Potássio

O potássio ocorre na forma de vários minerais, como microclina, ortoclásio (KAlSi_3O_8), muscovita, biotita, entre outros. Os íons do potássio (K^+) são liberados pelo intemperismo, entretanto, após migração mais ou menos prolongada, eles tendem a fixar-se, adsorvidos em minerais de argila, entre os espaços da illita, formando minerais secundários. Têm pouca mobilidade geoquímica nas águas doces e é raramente encontrado em concentrações iguais ou maiores que o sódio (Celligoi, 1999).

O potássio é um elemento essencial tanto na nutrição das plantas quanto na dos humanos, e ocorre em águas subterrâneas como resultado da dissolução mineral de material vegetal em decomposição, e escoamento agrícola. As concentrações de potássio em águas superficiais variam de 1 a 3 mg L⁻¹, enquanto que nas águas subterrâneas apresentam teores abaixo de 10 mg L⁻¹, sendo mais frequente entre 0,5 e 5 mg L⁻¹ (Parron *et al.*, 2011).

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11, não há restrição quanto às concentrações de potássio para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido.

2.8.3 - Cálcio

O cálcio é encontrado nos plagioclásios cálcicos ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), anidrita (CaSO_4), entre outros. O cátion (Ca^{++}) é o mais comum em águas doces e sua solubilidade é determinada pelo sistema de equilíbrio $\text{CaCO}_3 - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{CO}_3 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$, conhecido como equilíbrio

carbonato de cálcio-dióxido de carbono, que depende da temperatura, pH e da pressão, fatores que vão determinar a solubilidade do bicarbonato de cálcio (Celligoi, 1999; Pedrosa & Caetano, 2002).

O cálcio pode ser encontrado em corpos d'água em concentrações em torno de 15 mg L⁻¹ e, em águas subterrâneas, em teores que variam de 10 a 100 mg L⁻¹. Elevadas concentrações de cálcio podem provocar formação de pedras nos rins, hipercalcemia. No uso industrial, em sistemas de refrigeração, elevadas concentrações produzem entupimento através da produção de incrustações. O cálcio contribui para o aumento da dureza na água (Parron *et al.*, 2011).

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11, não há restrição quanto às concentrações de cálcio para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido.

2.8.4 - Magnésio

Devido à sua solubilidade, o magnésio é geralmente encontrado em águas naturais, mas em concentrações menores do que a do cálcio, de 1 a 40 mg/L; o íon magnésio (Mg²⁺) tem propriedades similares às do íon cálcio, porém ele é mais solúvel e difícil de precipitar. Águas armazenadas em rochas ricas em magnésio têm concentrações que podem atingir 100 mg/L; concentrações maiores que 100 mg/L são raramente encontradas, exceto em águas do mar e salmouras.

O excesso de magnésio reduz a frequência cardíaca em pessoas com problemas do coração; no entanto, em dosagens adequadas, trata a tensão pré-menstrual e a hipertensão, previne cálculos renais e biliares e ajuda os músculos a trabalhar; o magnésio também contribui para a dureza da água.

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11 não há restrição quanto às concentrações de magnésio para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido.

2.9 – Ânions

2.9.1 - Cloreto

As águas dos oceanos constituem a maior fonte de cloreto, visto que intemperismo das rochas ígneas colabora com poucas quantidades. Entretanto, a presença de cloreto em águas subterrâneas pode ser atribuída à dissolução de depósitos salinos, descargas de efluentes de indústrias químicas, intrusões salinas, etc. Os íons cloreto são altamente móveis e não são retidos em rochas permeáveis. Em argilitos, cristais de NaCl ou soluções de NaCl podem ser contidos em poros. Os íons cloreto normalmente em águas subterrâneas são presentes em baixas concentrações (<10 mg/L). Altas concentrações podem indicar poluição antrópica (Celligoi, 1999).

Os cloretos (Cl⁻) são muito solúveis e formam compostos muito estáveis, associados aos íons de sódio, que possuem uma tendência de se enriquecer a partir das zonas de recarga das águas subterrâneas (Pedrosa & Caetano, 2002).

De acordo com CETESB (2009), o cloreto é o ânion Cl⁻ que se apresenta nas águas subterrâneas oriundo da percolação da água através de solos e rochas. A sua concentração em águas de abastecimento público constitui um padrão

de aceitação, já que provoca sabor “salgado” na água em altas concentrações. A Portaria MS 2914/11 estabelece como valor máximo permitido (VMP) de padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano, o valor de 250 mg/L.

A Resolução CONAMA 396/2008 define nos usos preponderantes da água o limite máximo de 250.000 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 100.000 a 700.000 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 400.000 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de cloro, respectivamente para consumo humano, irrigação e recreação.

2.9.2 - Sulfato

O enxofre pode se apresentar de diversas formas, tais como sulfato (SO_4^{2-}), sulfito (SO_3^{2-}), sulfeto (S^{2-}), sulfeto de hidrogênio (H_2S), dióxido de enxofre (SO_2), ácido sulfúrico ($\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$), enxofre molecular (S^0) e associado a metais, como sulfeto de ferro (FeS). Dentre essas várias formas, o sulfato e o sulfeto de hidrogênio são as mais frequentes. O sulfato (SO_4^{2-}) é um dos íons mais abundantes na natureza. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto (Parron *et al.*, 2011; CETESB, 2009).

Segundo Celligoi (1999), o enxofre ocorre principalmente em gases magmáticos. A maior parte do elemento nas rochas ocorre em minerais como o gipso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e a anidrita (CaSO_4). Consideráveis quantidades de sulfato são adicionadas ao ciclo hidrológico com as precipitações da atmosfera. Vem do “spray” do mar, da poeira dos continentes e da oxidação de gás sulfídrico (H_2S), bem como das substâncias orgânicas do solo. Nas águas subterrâneas circulantes em rochas ígneas, a concentração de sulfato é baixa (< 30 mg/L).

Em águas para consumo humano, a Portaria do Ministério da Saúde 2914/2011 recomenda que as concentrações de sulfato não excedam 250 mg/L, pois acima deste valor, a sua ingestão provoca efeito laxativo.

A resolução CONAMA 396/2008 estabelece como padrões de cloro para consumo humano, dessedentação animal e recreação os valores máximos de 250.000 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 1.000.000 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 400.000 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente.

2.9.3 - Bicarbonato

A maioria dos íons bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}) em águas subterrâneas são derivados do dióxido de carbono na atmosfera e no solo e de soluções de rochas carbonatadas. Águas bicarbonatadas sódicas podem ser concentradas nos solos por evaporação, mas se muito cálcio estiver presente, o bicarbonato é retirado da água através da precipitação de carbonato de cálcio.

A concentração de bicarbonato em águas subterrâneas varia normalmente de 10 a 800 mg/L, sendo mais comuns concentrações entre 50 e 400 mg/L. Existe uma forte relação entre o pH da água e as concentrações do gás carbônico (CO_2), dos bicarbonatos (HCO_3^-) e dos carbonatos (CO_3^{2-}); estes dois últimos íons definem a alcalinidade das águas.

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11, não há restrição quanto às concentrações de bicarbonato para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido.

2.10 - Dureza

A dureza da água mede o grau de impedimento da ação do sabão e pode ser expressa como dureza temporária, dureza permanente e dureza total. A dureza temporária é ocasionada pela combinação dos íons cálcio e magnésio com os íons bicarbonato e carbonato na presença de aquecimento; os compostos formados podem ser eliminados através de fervura (Pedrosa & Caetano, 2002).

A dureza permanente é ocasionada pela combinação dos íons cálcio e magnésio com os íons sulfato, cloreto, nitrato e outros, dando origem a compostos solúveis que não podem ser retirados pelo aquecimento. A dureza total é a soma da dureza temporária com a dureza permanente e é usualmente expressa em mg/L de CaCO₃ e dada pela equação:

$$\text{Dureza total} = 2,5 [\text{Ca}^{2+}] + 4,1[\text{Mg}^{2+}]$$

De acordo com Von Sperling (2005), em termos de tratamento e abastecimento público, as águas podem ser classificadas de acordo com seu grau de dureza, conforme descreve a **tabela 2.2**.

Tabela 2.2 – Classificação das águas segundo a sua faixa de valor de dureza (Von Sperling, 2005).

Dureza (mg/L de CaCO ₃)	Tipo de Água
< 50	Mole
50 - 150	Moderada
150 - 300	Dura
> 300	Muito Dura

O VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 é de 500 mg/L de CaCO₃ para consumo humano.

2.11 - Compostos Nitrogenados

O nitrogênio é um componente importante no ciclo biogeoquímico, onde pode ser encontrado na matéria orgânica, como espécie dissolvida e gases. Os minerais contendo nitrogênio são, em geral, muito solúveis; por isso, são raros na natureza (Appelo & Postma, 1993).

O nitrogênio circula na atmosfera onde ocorrem reações redox catalisadas microbiologicamente; são as reações de oxidação do NH₄⁺ para NO₂⁻ e para NO₃⁻ (nitrificação) e reações redox do NO₃⁻ para NO₂⁻ e para NH₄⁺ (redução do nitrato e redução do nitrito), redução do NO₃⁻ para o N_{2(g)} (denitrificação) e redução do N_{2(g)} para NH₄⁺ (fixação de nitrogênio).

Os esgotos sanitários constituem geralmente a principal fonte de nitrogênio nas águas naturais, lançando nitrogênio orgânico devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, devido à hidrólise da ureia na água (Tchobanoglous *et al.*, 1991).

A quantidade de nitrogênio na água pode indicar poluição recente ou remota. O nitrogênio pode estar presente sob as suas diversas formas compostas: orgânica, amoniacal, nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻); ele segue um ciclo desde o organismo vivo até à mineralização total, onde está presente sob a forma de nitrato.

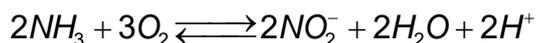
Assim, é possível avaliar o grau e a distância a uma fonte de poluição através das concentrações e das formas dos compostos nitrogenados presentes na água. Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por descargas de esgotos próximos. Águas com concentrações de nitrato predominantes sobre nitrito e amônia indicam uma poluição remota, porque os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio.

Os nitratos são muito solúveis e por isso dificilmente precipitam. Eles tendem a estabilidade em meios redutores, podendo passar a N_2 ou NH_4^+ e, excepcionalmente, a nitrito (NO_2^-). Esta redução é um fenômeno biológico produzido principalmente pelas bactérias Nitrossomas. A maioria dos compostos nitrogenados passa a NO_3^- em meio oxidante, enquanto o íon amônio (NH_4^+) pode transformar-se parcialmente em N_2 . O solo pode fixar nitrato (NO_3^-), em especial através da vegetação.

A nitrificação é um processo de oxidação biológica da amônia sob a forma do íon amônio (NH_4^+) para nitrato (Snoeyink & Jenkins, 1980).



Caso a amônia esteja sob a forma gasosa (NH_3), a nitrificação ou oxidação biológica a converterá em nitrito, através da reação:



As concentrações de nitrato nas águas naturais estão na faixa de 0,1 a 10 mg/L; porém, em águas muito poluídas, podem chegar a 200 mg/L; em alguns casos, em áreas influenciadas por aplicações excessivas de fertilizantes, as concentrações podem ser maiores que 600 mg/L.

Independente da sua origem, que também pode ser mineral, os nitratos em concentrações acima de 45 mg/L provocam em crianças a cianose ou methemoglobinemia, condições mórbidas associadas à descoloração da pele, em consequência de alterações no sangue.

Dessa forma, a Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites máximos de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde humana, como 1,5 mg/L para Amônia, 1 mg/L para Nitrito e 10 mg/L para Nitrato.

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 2.3**.

Tabela 2.3 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de nitrato e nitrito para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ($\mu g.L^{-1}$)	Dessedentação Animal ($\mu g.L^{-1}$)	Irrigação ($\mu g.L^{-1}$)	Recreação ($\mu g.L^{-1}$)
Nitrato (expresso em N)	10.000	90.000	-	10.000
Nitrito (expresso em N)	1.000	10.000	1.000	1.000

Nitrogênio inorgânico pode existir no estado livre como gás, nitrito, nitrato e amônia. Com exceção de algumas ocorrências como sais evaporíticos, o nitrogênio e seus compostos não são encontrados nas rochas da crosta terrestre. Nas águas subterrâneas os nitratos ocorrem em teores em geral abaixo de 5 mg/L e nitritos e amônia são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias. Elevado teor de nitrito e amônia é sinal de poluição orgânica recente.

No sistema digestivo o nitrato é transformado em nitrosaminas, que são substâncias carcinógenas. Crianças com menos de três meses de idade possuem, em seu aparelho digestivo, bactérias que reduzem o nitrato a nitrito. Este se liga muito fortemente a moléculas de hemoglobina, impedindo-as de transportarem oxigênio para as células do organismo. A deficiência em oxigênio leva a danos neurológicos permanentes, dificuldade de respiração (falta de ar) e em casos mais sérios à morte por asfixia. Aos seis meses de idade, a concentração de ácido hidrocloreto aumenta no estômago, matando as bactérias redutoras de nitrato.

2.12 - Ferro e Manganês

Ferro e manganês são elementos que apresentam comportamento químico muito parecido na natureza, e em virtude de afinidades geoquímicas, quase sempre ocorrem juntos.

As fontes de ferro são minerais escuros (máficos) portadores de Fe: magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. No estado ferroso (Fe^{2+}) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes o Fe^{2+} passa a Fe^{3+} , dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água. Não apresentam inconveniente à saúde nas concentrações normalmente encontradas, mas águas com altas concentrações desses metais lhe conferem coloração amarelada, acarretando sabor amargo e adstringente. Nas águas subterrâneas podem ocorrer concentrações abaixo de 0,3 mg.L⁻¹. (Parron *et al.*, 2011).

A presença do manganês se deve a óxidos e hidróxidos, tais como hornblenda e biotita. Elemento principal da rodocrosita. É detectável em pequenas quantidades na água subterrânea, concentrações acima de 1 mg/L são raras, mas valores como 0,05 mg/L terão efeito adverso na potabilidade da água (Celligoi, 1999).

O ferro e o manganês estão presentes nas formas insolúveis numa grande quantidade de solos. Na ausência de oxigênio dissolvido como, por exemplo, água subterrânea ou fundo de lagos, eles se apresentam na forma solúvel. Caso a água contendo as formas reduzidas de ferro e manganês seja exposta ao ar atmosférico, o ferro e o manganês voltam a se oxidar às suas formas insolúveis (Schwarzbach & Morandi, 2000).

A Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites máximos de padrão organoléptico de potabilidade para ferro e manganês, como sendo o de 0,3 mg/L e 0,1 mg/L, respectivamente.

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 2.4**.

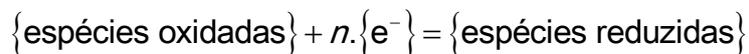
Tabela 2.4 – Valores Máximos Permitidos (VMP) de ferro e manganês para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Dessedentação Animal ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Irrigação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Recreação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Ferro	300	-	5.000	300
Manganês	100	50	200	100

Os altos teores de ferro dissolvido nas águas subterrâneas da PHA

Em primeiro lugar convém fazer uma distinção entre os “processos de intemperismo” das rochas na região amazônica, que ocorrem desde, pelo menos, do Neomioceno até o presente, e respondem pela formação de depósitos de concentração residual (por exemplo, laterita, bauxita), e os “processos redox”, graças aos quais, o alumínio e o ferro residuais do intemperismo (insolúveis em água) podem ser transportados em solução. Ou seja, os altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea não resultam do processo de intemperismo químico das rochas, mas das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas.

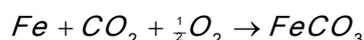
Segundo Merkel & Friedrich (2008) as equações de oxi-redução ou redox desempenham um papel importante em todas as interações presentes em sistemas aquosos. Uma reação redox é considerada como uma transferência de elétrons e obedece à seguinte reação geral:



n = número de elétrons (e^{-}).

Na Amazônia as águas superficiais são ácidas e constituem um dos principais agentes do intemperismo químico. A acidez dessas águas pode resultar da oxidação de sulfetos (pirita), gerando H_2SO_4 (ácido sulfúrico); da dissolução do dióxido de carbono da atmosfera, formando H_2CO_3 (ácido carbônico) diluído; da presença de ácidos húmicos gerados por processos biológicos de degradação da matéria orgânica nos solos.

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério (resíduo do intemperismo das rochas) pelo gás carbônico da água, conforme a equação:



O carbonato ferroso é solúvel e frequentemente encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração (CETESB, 2009).

Portanto, a explicação para os elevados teores de ferro dissolvido nas águas subterrâneas dos aquíferos da PHA é que eles resultam de reações de oxi-redução, como fica demonstrado pela modelagem do equilíbrio do ferro nas águas subterrâneas (Snoeyink & Jenkins, 1980), através de um diagrama pH-Eh incluindo a interação de espécies do ferro com sulfeto e bicarbonato. Esse diagrama também é chamado de diagrama de estabilidade ou diagrama de espécies predominantes para cada sistema redox.

A solubilidade do ferro em relação a pH e Eh a 25°C e 1 atm é ilustrada no diagrama da **figura 2.1**, segundo Hem (1960). A figura foi desenhada para uma concentração molar especificada de carbono inorgânico total ($C_{T,CO_3} = 10^{-3} M$) e um teor de enxofre inorgânico total ($C_{T,S} = 10^{-4} M$). Notar que a região do hidróxido ferroso ($Fe(OH)_2$) foi reduzida de tamanho pelas espécies $FeS_2(s)$ (dissulfeto de ferro) e $FeCO_3(s)$ (carbonato ferroso). Outra feição desse particular diagrama é a apresentação de diversos limites entre fases sólidas e em solução, cada uma representando uma concentração diferente de ferro permissível. Esses limites variam de 10 M (570 g de Fe/litro) a $10^{-5} M$ (0,57 mg de Fe/litro).

Para um dado pH constante, o diagrama revela uma região superior de $Fe(OH)_3$ (hidróxido férrico), uma região intermediária de $FeCO_3$ (carbonato ferroso) e uma região inferior de FeS_2 (dissulfeto de ferro).

Esse diagrama e suas regiões pode ser visualizado, ao longo da vertical, como um “poço virtual” tendo 3 (três) entradas de água, indicadas como 1, 2 e 3 (**figura 2.1**).

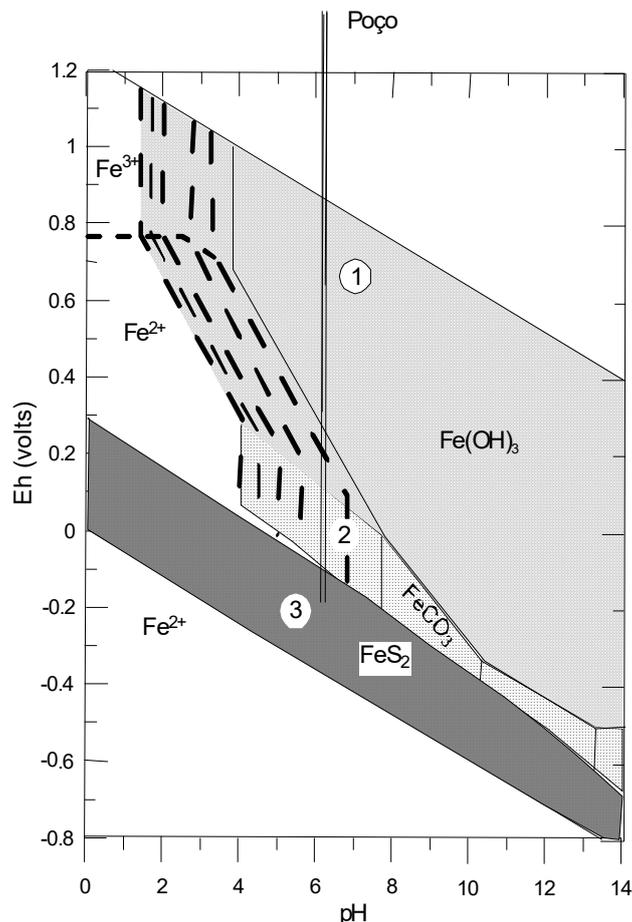
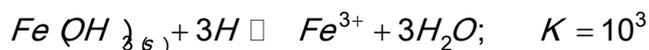


Figura 2.1 – Diagrama pH-Eh ilustrando a solubilidade do ferro em relação a pH, em 3 (três) zonas, para $C_{T,S} = 10^{-4} M$; $C_{T,CO_3} = 10^{-3} M$, segundo Hem (1960). Adaptado de Snoeyink & Jenkins (1980).

Região Superior

A primeira entrada seria equivalente à de um poço raso que tivesse a sua fonte de água na zona de aeração ou insaturada. Nessa zona, o ferro está quase em equilíbrio com o oxigênio da atmosfera e o seu teor na água é governado pela reação da mesma com o óxido de ferro sólido, $Fe(OH)_3(s)$. O teor de ferro na água é, portanto, governado pelo equilíbrio:



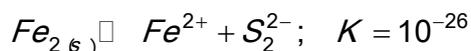
A equação para o teor de ferro (mol/L) em função do pH é dada por:

$$\log[Fe^{3+}] = 4 - 3pH$$

Logo, nessa região, para um pH de 5, a concentração de ferro em equilíbrio na solução será de apenas $10^{-11} M$ (0,0057 μg de Fe^{3+}/L). Aí as águas têm baixo pH porque elas se encontram na zona biologicamente ativa do solo, onde existe uma considerável produção de CO_2 .

Região Inferior

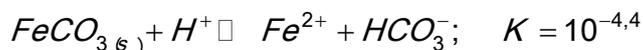
A terceira entrada seria para um poço profundo que capta água que está em equilíbrio com o mineral pirita $FeS_2(s)$. Nessa zona aquífera o ferro se encontra na forma de ferroso e o enxofre na forma de sulfeto, precipitando dissulfeto de ferro. O teor de ferro da água do poço seria controlado pela reação:



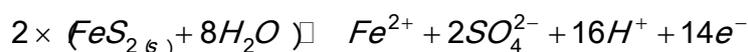
Essa reação, caso o S_2^{2-} seja a única espécie, produzirá um teor de ferro em solução inferior a 1 μg de Fe^{2+}/L . Ou seja, águas desse tipo apresentam baixo teor de ferro e de sulfato.

Região Intermediária

A segunda entrada de água do poço se encontra numa zona intermediária entre as regiões do óxido de ferro III e do dissulfeto de ferro. Essa zona é a do carbonato ferroso ($FeCO_3(s)$) e o mineral que controla a concentração de ferro dissolvido é geralmente o mineral siderita.



As águas nessa região apresentam altos teores de ferro dissolvido em comparação com as duas outras zonas para um dado pH. Além disso, nessa zona ocorre um aumento na concentração de sulfato na água do poço porque a formação dessa região pode ser tratada como uma oxidação do sulfeto de ferro ($FeS_2(s)$) para sulfato ferroso.



No que concerne à qualidade da água, essa modelagem traz importante contribuição para o projeto e construção de poços. Por exemplo, a água de poços na zona de $Fe(OH)_3(s)$ apresenta altos teores de CO_2 e baixos valores

de pH, sendo potencialmente corrosiva. Em poços perfurados que penetram na zona de FeS_2 , o revestimento deve se estender até abaixo da mesma, para evitar o contato com o oxigênio. Além disso, o próprio revestimento nessa zona deve ser cimentado para evitar a corrosão.

2.13 – Metais Pesados

Arsênio

Presente na matéria orgânica, em quase todos os sulfetos metálicos e ainda dissolvido nas águas naturais. Ocorre na natureza em quantidades reduzidas, aproximadamente 0,00005%. As fontes naturais de arsênio são principalmente, as jazidas de metais, onde o elemento se encontra na forma de arsenita (AsO_4^{3-}). Nas águas subterrâneas, as concentrações de arsênio são comumente abaixo de 0,1 mg/L, porém, em águas de poços petrolíferos e em águas minerais, ocorrem concentrações de até 4 mg/L. O arsênio é muito perigoso à saúde pública, basta uma pequena ingestão de 100 mg para envenenar seriamente o organismo humano, por ser carcinógeno o seu limite de aceitação é de 0,01 mg/L (Feitosa *et al.*, 2008).

Bário

O bário é um elemento químico tóxico, raro nas águas naturais, normalmente encontrado em teores que variam entre 0,0007 a 0,9 mg/L. As principais fontes naturais são intemperismo e erosão de depósitos naturais, onde ocorre na forma de barita ($BaSO_4$), ou feldspatos ricos em bário. Entre as atividades humanas que introduzem bário no meio ambiente, pode ser citada a perfuração de poços, onde é empregado em lamas de perfuração, e a produção de pigmentos, fogos de artifício, vidros e defensivos agrícolas (CETESB, 2007).

Sua ingestão em concentrações elevadas provoca aumento da pressão sanguínea, por vasoconstrição e bloqueio do sistema nervoso. Todos os seus compostos que são solúveis em água são venenosos. Entretanto, o sulfato de bário pode ser usado em medicina, por via oral, como contraste porque não se dissolve e por ser eliminado rapidamente pelo trato digestivo.

Cádmio

Metal relativamente raro na natureza, encontrado principalmente nos minerais de zinco, tais como blenda, calamina, smithsonita e hidrozincita, em porcentagens que variam de 0,1 a 0,3%. Nas águas subterrâneas exibe teores inferiores a 20 mg/L. É muito tóxico para a saúde do homem, tendo ação cumulativa sobre o organismo humano. Seu excesso pode provocar hipertensão arterial, anemia, retardamento de crescimento e morte (Feitosa *et al.*, 2008).

Chumbo

Metal encontrado em pequenas quantidades na natureza sendo a sua principal fonte o mineral galena (sulfeto de chumbo). A maioria do chumbo que ingressa diariamente no organismo humano tem origem em alimentos, sujeiras e poeira contendo o metal. As águas subterrâneas tem quantidades médias em torno de 20 mg/L. Altos teores de chumbo podem provocar intoxicação, podendo ocasionar até danos cerebrais ou levar a morte em casos extremos (Feitosa *et al.*, 2008).

Cobre

Os principais minerais de cobre são calcopirita (CuFeS_2), calcosita (Cu_2S), covelita (CuS), malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) e azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$). O cobre tem baixa solubilidade e elevada persistência na água. Ocorre nas águas subterrâneas com teores inferiores a 1 mg/L, contudo em águas que percolam jazidas de cobre ocorrem em maiores concentrações. Quase todo o cobre ingerido pelo homem é eliminado, no entanto, altas concentrações podem provocar hemocromatose (Feitosa *et al.*, 2008).

Cromo

Metal relativamente raro na crosta terrestre, aproximadamente 0,03%. Não é encontrado no estado livre, ocorrendo geralmente associado ao ferro e ao chumbo. Entre os minerais de cromo destacam-se a cromita (FeOCr_2O_3) e a crocoíta (PbCrO_4). Entre os vários estados de oxidação, o Cr^{3+} e o Cr^{6+} são estáveis em água. O cromo é relativamente bem distribuído, mas com baixa solubilidade. Os níveis em água são geralmente baixos, inferiores a 1 mg/L. Entretanto, existem exemplos de contaminação de água por cromatos e dicromatos, superiores a 25 mg/L (Celligoi, 1999; Feitosa *et al.*, 2008).

Mercúrio

Único metal líquido, volátil em pequena intensidade, seus vapores são extremamente tóxicos, podendo causar cansaço, dificuldade de concentração e perda de memória. O mais importante composto de mercúrio é o sulfeto mercúrico (HgS). Os estados de oxidação que o mercúrio pode assumir são Hg^{+1} e Hg^{+2} . Apesar da toxicidade dos sais de mercúrio, o cloreto mercurioso (Hg_2Cl_2), conhecido como calomelano, encontra aplicação na medicina como estimulante de órgãos de secreção (Feitosa *et al.*, 2008).

Níquel

O níquel é um metal prateado, razoavelmente duro, dúctil e maleável. Apresenta um fraco brilho amarelado devido, em parte, à existência de uma camada protetora de óxido. Forma compostos inorgânicos solúveis, como os hidróxidos, sulfatos, cloretos e nitratos, e insolúveis, como os óxidos e sulfetos. Também pode formar carbonila de níquel, um composto orgânico volátil e incolor. O níquel possui diferentes estados de oxidação e o mais frequente é o Ni^{2+} , que tem a capacidade de formar vários complexos. O níquel está presente no solo, água, ar e biosfera em concentrações traço. O níquel emitido no ambiente por fontes naturais ou antropogênicas circula por todos os compartimentos ambientais por meio de processos químicos e físicos, além de ser biologicamente transportado por organismos vivos (CETESB, 2012).

Zinco

Metal brilhante encontrado na crosta terrestre e que pode se combinar com outros elementos formando compostos de zinco. O zinco e seus compostos têm muitos usos na indústria automobilística, de construção civil e de eletrodomésticos. É usado na fabricação de ligas resistentes à corrosão e na galvanização de produtos de ferro e aço. Os principais compostos de zinco são os óxidos (ZnO), utilizados nas indústrias de cerâmica, borracha e tintas; o sulfato de zinco (ZnSO_4) com aplicação na indústria têxtil e no enriquecimento de solos pobres em zinco; e o cloreto de zinco (ZnCl_2) usado para preservar

madeiras e em pilhas secas e tintas. A principal emissão natural de zinco é por erosão. As fontes antropogênicas são mineração, produção de zinco, produção de ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão e outros combustíveis, eliminação e incineração de resíduos e uso de fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco. A concentração de zinco em água superficial geralmente é menor que 10 µg/L, na água do mar está entre 0,002 e 0,1 µg/L e na água subterrânea de 10 a 40 µg/L (CETESB, 2012).

Todos os metais pesados citados anteriormente foram analisados nas águas de aquíferos que compõem a PHA, e como esses parâmetros apresentam risco à saúde humana, a Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites máximos de padrão de potabilidade (**tabela 2.5**).

Tabela 2.5 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco, segundo a Portaria MS 2914/2011.

Parâmetro	VMP (mg/L)
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Chumbo	0,01
Cobre	2,0
Cromo	0,05
Mercúrio	0,001
Níquel	0,07
Zinco	5,0

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 2.6**.

Tabela 2.6 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano (µg.L ⁻¹)	Dessedentação Animal (µg.L ⁻¹)	Irrigação (µg.L ⁻¹)	Recreação (µg.L ⁻¹)
Arsênio	10	200	-	50
Bário	700	-	-	1000
Cádmio	5	50	10	5
Chumbo	10	100	5000	50
Cobre	2000	500	200	1000
Cromo	50	1000	100	50
Mercúrio	1	10	2	1
Níquel	20	1000	200	100
Zinco	5000	24000	2000	5000

2.14 – BTEX e Fenóis

2.14.1 - BTEX

O grupo de compostos BTEX formado pelo **B**enzeno, **T**olueno, **E**tilbenzeno e **X**ilenos (orto, meta e para) são extremamente tóxicos à saúde humana, apresentando toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações,

podendo levar a lesões do sistema nervoso central. O benzeno é reconhecidamente o mais tóxico de todos os BTEX, pois se trata de uma substância comprovadamente carcinogênica (podendo causar leucemia, ou seja, câncer dos tecidos que formam os linfócitos do sangue). Uma exposição aguda (altas concentrações em curtos períodos) por inalação ou ingestão pode causar até mesmo a morte de uma pessoa. O BTEX e outros alquilbenzenos perfazem cerca de 10 a 59% da gasolina (massa/massa) enquanto os hidrocarbonetos alifáticos compreendem 41 a 62% (Brito *et al.*, 2005).

Devido ao risco potencial a saúde humana que esse grupo de compostos oferece, a Portaria MS 2914/2011 estabeleceu limites para que a água seja considerada potável, como pode ser observada na **tabela 2.7**.

Tabela 2.7 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX), segundo a Portaria MS 2914/2011.

Parâmetro	VMP (mg/L)
Benzeno	0,005
Tolueno	0,17
Etilbenzeno	0,2
Xilenos	0,3

A Resolução CONAMA 396/2008 também estabeleceu limites máximos aceitáveis para esses parâmetros de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 2.8**.

Tabela 2.8 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Dessedentação Animal ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Irrigação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Recreação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Benzeno	5	-	-	10
Tolueno	170	24	-	-
Etilbenzeno	200	-	-	-
Xileno Total (o,m,p xilenos)	300	-	-	-

2.14.2 - Fenóis

O fenol ($\text{CH}_6\text{H}_5\text{OH}$) é um sólido branco cristalino em seu estado puro. Geralmente é vendido e utilizado na forma líquida, possui odor forte, levemente doce e irritante. Apresenta diversas aplicações, como reagente na produção de resinas, plásticos, medicamentos, herbicidas e desinfetantes (CETESB, 2010). Os fenóis foram muito utilizados como germicidas e desinfetantes. Atacam o sistema nervoso central, podendo levar à morte com pouco tempo de exposição (Schmidt, 2010). Considerando os efeitos toxicológicos do fenol, a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceu limites máximos aceitáveis para a água subterrânea de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado na **tabela 2.9**.

Tabela 2.9 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de Fenóis para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Dessedentação Animal ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Irrigação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Recreação ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Fenóis	3	2	-	2

2.15 – Isótopos Ambientais

2.15.1 – Oxigênio-18 e Deutério

A composição dos isótopos estáveis da água (^{18}O e ^2H) é modificada por processos meteóricos e por esta razão as águas de recarga dos aquíferos possuem uma *assinatura isotópica* característica, que serve como um traçador natural da *origem* das mesmas (Clark & Fritz, 1997).

O hidrogênio e o oxigênio fazem parte da molécula da água e apresentam cada um deles, três formas diferentes; o hidrogênio: ^1H , D (^2H) e T (^3H) e o oxigênio ^{16}O , ^{17}O e ^{18}O . Por isso, a água pode ser encontrada em formas isotópicas diferentes, sendo as mais abundantes H_2^{16}O , H_2^{18}O e HD^{16}O , cujas abundâncias relativas médias são, respectivamente, 99%, 0,2% e 0,032%.

Portanto, a quantidade de moléculas H_2^{18}O e HD^{16}O , é muito pequena em relação à quantidade de moléculas H_2^{16}O e varia dependendo da origem da água, de processos que ocorrem durante o seu deslocamento e de seu armazenamento superficial. Assim, estas moléculas marcam a água e são utilizadas como traçadores para pesquisar sua história.

Os resultados das medidas destes isótopos são expressos em termos de $\delta\text{‰}$, definido por:

$$\delta\text{‰} = [(R_a - R_p) / R_p] \times 10^3$$

Onde, R_a é a razão isotópica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ou D/H, respectivamente, para o oxigênio e para o hidrogênio na amostra e R_p seu valor para uma água padrão “VSMOW” (*Vienna Standard Mean Ocean Water*) da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica) em Viena/Áustria. O padrão SMOW originalmente era água do oceano, escolhido por Craig (1961).

O valor de δ mede, portanto, o enriquecimento (ou empobrecimento, quando $\delta < 0$) no isótopo pesado da amostra em relação ao padrão. É importante que, devido à grande predominância do isótopo mais leve (^1H ou ^{16}O), δ comporta-se como uma concentração numa mistura de águas de valores de δ diferentes (i.e. segue uma reta de mistura) (Craig, 1961).

Em virtude da complexidade do ciclo hidrológico é surpreendente que ^{18}O e ^2H tenham um comportamento perfeitamente previsível (Clark & Fritz, 1997). De fato, Craig (1961) descobriu que ^{18}O e ^2H em águas doces se correlacionam em escala global. A **Linha de Água Meteórica Global** (sigla em inglês GMWL) de Craig define a relação entre ^{18}O e ^2H através da **equação 2.1**.

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10\text{‰ SMOW} \quad (2.1)$$

O monitoramento subsequente da composição isotópica estável da chuva em escala global (IAEA – Rede Global para Isótopos na Precipitação) resultou, dez

anos depois, no estabelecimento do padrão VSMOW e na substituição da **equação 2.1** pela **equação 2.2**.

$$\delta^2\text{H} = 8,13 \delta^{18}\text{O} + 10,8\text{‰ VSMOW} \quad (2.2)$$

Na verdade essa relação (2.2) é “global” apenas na aplicação, sendo de fato uma média de muitas linhas de água meteórica regional e local, que diferem da global devido à variação dos parâmetros climáticos e geográficos envolvidos (Clark & Fritz, 1997). Em hidrologia isotópica, a **equação (2.2)**, que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig, é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas.

Desse modo, a fim de identificar a origem das águas dos aquíferos da PHA foram elaborados diagramas contendo a Linha de Água Subterrânea (LAS) ou Reta de Água Subterrânea (RAS) e Linha de Água Meteórica Mundial (LAMM), também chamada de Reta de Água Meteórica (RMM).

2.15.2 – Trício

Trício na Precipitação

Os testes atmosféricos de armas nucleares realizados entre os anos de 1952 e 1962 produziram uma quantidade formidável de trício atmosférico. Essa tremenda entrada de ^3H na atmosfera criou na estratosfera um reservatório desse isótopo que literalmente contaminou o sistema global de precipitação durante 40 anos. Em 1963 um tratado Americano-Soviético suspendeu os testes de armas termonucleares, embora alguns testes franceses e chineses tenham sido realizados até 1980 (Clark & Fritz, 1997). O ano de 1962, quando foram encerrados os testes nucleares, gerou um imenso pico de ^3H , que apareceu na primavera de 1963 e se tornou uma marca usada em muitos estudos hidrológicos. As concentrações de ^3H nas precipitações estão agora praticamente de volta aos níveis cosmogênicos naturais (Clark & Fritz, 1997).

Datação de Água Subterrânea com Trício

O trício (^3H) é provavelmente o radioisótopo mais frequentemente empregado para identificar a presença de recarga moderna (Clark & Fritz, 1997).

Kaufman & Libby (1954) foram os primeiros a reconhecer o potencial do ^3H cosmogênico para a datação de águas subterrâneas e existem vários métodos *quantitativos* e *qualitativos* com uso desse isótopo. A atenuação dos níveis de trício na atmosfera associada com a presença de águas novas e paleoáguas, em alguns aquíferos, afetam a confiabilidade das interpretações quantitativas. Uma interpretação qualitativa significa que os tempos de trânsito ou de residência não podem ser determinados (Clark & Fritz, 1997).

Uma proposta de interpretação qualitativa de dados de ^3H , feita por Clark & Fritz (1997) para dados de regiões de baixa latitude, relaciona os valores de Unidades de Trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**).

Tabela 2.10 – Relação entre unidades de trício (U.T.) e idade das águas subterrâneas.

Unidade de trício (U.T.)	Interpretação qualitativa da idade
< 0,8	Água submoderna, recarga anterior a 1952
0,8 a 2	Mistura de água submoderna com recarga recente
2 a 8	Água moderna (< 5 a 10 anos)
10 a 20	Água com presença de ³ H residual da "bomba"
>20	Água com uma componente significativa de recarga dos anos 1960 e 1970

2.15.3 – Carbono-14

O carbono-14 embora não pertencendo à molécula d'água é um excelente traçador das águas subterrâneas, onde está presente na forma de bicarbonato dissolvido proveniente do CO₂ do ar, trazido pelas precipitações, do CO₂ existente no solo, vindo principalmente pela respiração das raízes e dissolução dos calcários. O uso deste isótopo no estudo das águas subterrâneas foi proposto por Münnich (1957). De acordo com os valores de carbono-14, as águas subterrâneas podem ser classificadas como: águas modernas (tempo de residência inferior a 200 anos), e paleoáguas (tempo de residência superior a 200 anos).

2.16 – Parâmetros Biológicos

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes. Por serem considerados indicadores microbiológicos de contaminação fecal da água são mundialmente utilizados, podendo indicar eventuais perigos para a saúde humana. Vale ressaltar que nem toda água que contenha coliformes é contaminada por microorganismos patogênicos (Feitosa *et al.*, 2008).

Coliformes Totais

Bacilos gram-negativos, aeróbicos ou anaeróbicos facultativos, não formadores de esporos, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a 35 ± 0,5 °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β-galactosidase (Feitosa *et al.*, 2008). Os coliformes totais, dada a sua possível incidência em águas e solos não contaminados, representam, portanto, outros organismos de vida livre, e não intestinal. No caso específico de abastecimento de água potável, a água tratada não deve conter coliformes totais, os quais, caso encontrado, sugere tratamento inadequado, contaminação posterior ou nutriente em excesso (Von Sperling, 2005).

A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

Escherichia Coli

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros. A sua presença indica que poderão estar presentes microorganismos causadores ou transmissores de doenças patogênicas. Diferentemente dos coliformes totais, *E. coli* é a única que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal (Von Sperling, 2005; Feitosa *et al.*, 2008).

A Portaria MS 2914/2011 estabeleceu como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA estabelece padrões de microorganismos de acordo com os usos preponderantes da água subterrânea, como pode ser observado na **tabela 2.11**.

Tabela 2.11 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de microorganismos para os usos preponderantes (Resolução CONAMA 396/2008).

Parâmetro	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano	Dessedentação Animal	Irrigação	Recreação
<i>E. coli</i>	Ausentes em 100 mL	100 / 200 mL	-	800 / 100 mL

3 – Hidrogeoquímica do Aquífero Alter do Chão

3.1 - Introdução

No contexto regional, o aquífero Alter do Chão está localizado na Província Amazonas, que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003). No contexto local, o aquífero Alter do Chão está situado na Bacia do Amazonas.

De acordo com o relatório de geologia da PHA (Volume II), a Formação Alter do Chão é constituída por clásticos continentais de idade Cenozoica (Paleoceno-Neomioceno), representados por arenitos caulínicos, finos a grossos, às vezes com níveis conglomeráticos. Intercaladas na sequência arenosa, ocorrem camadas argilosas, cuja coloração varia de avermelhada a mosqueada, esbranquiçada, creme e lilás, geralmente pouco consolidadas, às vezes contendo lentes de arenito friável.

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão, nas cidades de Almeirim, Santarém, Manaus e Parintins, foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 12.8**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Alter do Chão, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

Laboratório da Bioagri Ambiental:

- 70 (setenta) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sulfato, Eh, bicarbonato, nitrogênio (amoniaco, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*), sendo 05 (cinco) em Almeirim - PA, 30 (trinta) em Manaus - AM, 05 (cinco) em Parintins - AM e 30 (trinta) em Santarém - PA. Devido a problemas de acesso local e falta de permissão de alguns proprietários não foi possível efetuar a coleta de amostragem nos mesmos 30 (trinta) poços da primeira campanha, havendo a seleção de 7 (sete) poços distintos na segunda campanha de amostragem (31 e 35 a 40);
- 10 (dez) Análises de Metais Pesados - arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco, nos poços de Santarém - PA;
- 10 (dez) Análises de BTEX e Fenóis - benzeno, tolueno, etilbenzeno, o-Xileno e m,p-Xileno e índice de fenóis, nos poços de Santarém - PA.

Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:

- 11 (onze) Análises de Isótopos Ambientais Estáveis - deutério e oxigênio-18, sendo 02 em Almeirim - PA, 03 em Manaus - AM, 02 em Parintins - AM e 04 em Santarém - PA.

Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:

- 13 (treze) Análises do Isótopo Ambiental Radioativo - trício, sendo 02 em Almeirim - PA, 02 em Manaus - AM, 02 em Parintins - AM e 07 em Santarém - PA.

Laboratório Beta Analytic, da Flórida - USA:

- 08 (oito) Análises do Isótopo Ambiental - carbono 14, sendo 04 poços em Santarém - PA e 04 em Manaus - AM.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 12.1**.

3.2 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquífero Alter do Chão foram submetidos a avaliações pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos (**tabela 3.1**) verifica-se que no período chuvoso (abril de 2012), 77% (54/70) das amostras coletadas no aquífero Alter do Chão, apresentaram Ep fora dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1, enquanto que 73% (51/70) se revelaram fora dos padrões do balanço iônico nº 2.

Cerca de 74% (52/70) das amostras apresentam Ep superiores aos limites permissíveis e não são considerados válidos em ambos os balanços iônicos.

Tabela 3.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão – abril de 2012.

Poço	CE (µS/cm)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço iônico nº 1	Balanço iônico nº 2
ALM01	197	1,47	1,04	33,81	16,91
ALM02	184	1,09	0,71	42,47	21,24
ALM03	207	1,16	0,67	52,9	26,45
ALM04	59	0,28	0,22	23,89	11,95
ALM05	148	0,85	0,44	63,2	31,6
MAU01	64	0,73	0,08	158,98	79,49
MAU02	60	0,77	0,48	46,01	23
MAU03	142	0,12	0,05	72,26	36,13

Tabela 3.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão – abril de 2012 (Continuação).

Poço	CE (µS/cm)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
MAU04	37	0,57	0,27	72,26	36,13
MAU05	16	0,07	4,3	193,4	96,7
MAU06	63	0,37	0,32	13,07	6,54
MAU07	136	0,74	0,22	109,94	54,97
MAU08	20	0,31	0,22	34,53	17,26
MAU09	85	0,71	0,18	118,77	59,38
MAU10	96	0,09	0,05	70,53	35,26
MAU11	44	0,4	0,18	76,92	38,46
MAU12	20	0,27	0,31	13,06	6,53
MAU13	21	0,29	0,2	34,16	17,08
MAU14	17	0,2	0,24	14,96	7,48
MAU15	12	0,03	0,04	33,4	16,7
MAU16	33	0,08	0,17	72,34	36,17
MAU17	27	0,23	0,09	91,49	45,75
MAU18	29	0,35	0,27	27,16	13,58
MAU19	39	0,29	0,22	29,23	14,61
MAU20	45	0,43	0,43	0,32	0,16
MAU21	15	0,05	0,04	25,02	12,51
MAU22	18	0,03	0,05	37,79	18,9
MAU23	43	0,04	0,04	14,64	7,32
MAU24	28	0,16	0,3	60,2	30,1
MAU25	21	0,19	0,05	119,88	59,94
MAU26	16	0,08	0,04	73,89	36,95
MAU27	40	0,12	0,04	104	52
MAU28	57	0,12	0,04	101,51	50,76
MAU29	24	0,03	0,04	14,46	7,23
MAU30	15	0,03	0,05	44,38	22,19
PIN31	32	0,05	0,05	3,79	1,9
PIN32	20	0,04	0,04	2,38	1,19
PIN33	17	0,04	0,04	2,86	1,43
PIN34	90	0,32	0,42	26,01	13,01
PIN35	120	0,43	0,39	10,9	5,45
STM01	279	1,54	0,55	94,97	47,48
STM02	162	1,03	0,55	61,03	30,51
STM03	338	2,18	0,82	90,47	45,23
STM04	118	0,8	0,39	67,66	33,83

Tabela 3.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão – abril de 2012 (Continuação).

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
STM05	196	1,7	0,46	115,17	57,59
STM06	60	0,37	0,25	38,73	19,36
STM07	233	1,32	0,59	76,46	38,23
STM08	331	1,77	1,05	51,41	25,7
STM09	115	0,43	0,19	76,77	38,39
STM10	51	0,27	0,28	6,5	3,25
STM11	129	0,76	0,35	74,39	37,2
STM12	75	0,29	0,13	71,62	35,81
STM13	99	0,03	0,04	37,57	18,78
STM14	43	0,31	0,13	83,39	41,7
STM15	22	0,04	0,06	31,06	15,53
STM16	18	0,01	0,05	102,23	51,11
STM17	260	1,25	0,63	66,83	33,41
STM18	124	0,61	0,38	45,12	22,56
STM19	25	0,04	0,04	2,24	1,12
STM20	145	0,3	0,22	31,5	15,75
STM21	73	0,24	0,13	58,97	29,49
STM22	195	1,83	0,71	88,6	44,3
STM23	89	0,33	0,18	57,96	28,98
STM24	86	0,27	0,2	29,46	14,73
STM25	240	1,29	0,52	84,33	42,17
STM26	290	1,7	0,63	92,2	46,1
STM27	155	0,6	0,34	55,28	27,64
STM28	33	0,08	0,04	59,11	29,55
STM29	184	0,8	0,44	58,17	29,08
STM30	74	0,15	0,14	9,84	4,92

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se que 77% (54/70) das amostras obtiveram resultados fora dos padrões de Ep, sendo considerados como inapropriados na metodologia nº 1 de balanço iônico. Pela metodologia nº 2, 74% (52/70) das amostras ficaram acima do limite de erro permitido. Apenas 23% (16/70) das amostras foram consideradas adequadas pelo balanço iônico nº 1 e nº 2, haja vista que apresentaram Ep dentro dos limites permissíveis estabelecidos, como demonstra a **tabela 3.2**.

Tabela 3.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão – outubro de 2012.

Poço	CE (µS/cm)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
ALM01	215	1,04	0,48	74,52	37,26
ALM02	159	0,75	0,39	63,6	31,8
ALM03	207	1,1	0,51	72,76	36,38
ALM04	181	1,04	0,91	13,03	6,52
ALM05	223	1,25	0,54	79,56	39,78
MAU01	53	0,32	0,24	25,6	12,8
MAU02	58	0,46	0,38	18,9	9,45
MAU03	30	0,11	0,05	74,75	37,38
MAU04	19	0,26	0,19	31,5	15,75
MAU05	17	0,05	0,03	71,01	35,51
MAU06	75	0,35	0,19	57,99	29
MAU07	70	0,39	0,28	32,85	16,43
MAU08	18	0,12	0,19	48,19	24,1
MAU09	94	0,55	0,21	89,5	44,75
MAU10	16	0,04	0,05	16,22	8,11
MAU11	45	0,19	0,11	51,26	25,63
MAU12	16	0,05	0,04	36,99	18,49
MAU13	21	0,14	0,16	13,48	6,74
MAU14	44	0,11	0,07	45,37	22,68
MAU15	20	0,07	0,03	73,58	36,79
MAU16	35	0,09	0,11	22,44	11,22
MAU17	49	0,24	0,11	76,2	38,1
MAU18	59	0,43	0,16	91,37	45,69
MAU19	20	0,13	0,03	133,62	66,81
MAU20	109	0,72	0,41	55,4	27,7
MAU21	20	0,12	0,03	110,48	55,24
MAU22	10	0,03	0,02	7,08	3,54
MAU23	23	0,21	0,02	158,95	79,47
MAU24	20	0,12	0,02	131,87	65,94
MAU25	26	0,08	0,03	92,03	46,01
MAU26	8,7	0,08	0,23	92,33	46,16
MAU27	12	0,04	0,02	39,51	19,75
MAU28	8,8	0,06	0,02	78,64	39,32
MAU29	11	0,03	0,02	27,65	13,82
MAU30	26	0,33	0,28	18,48	9,24
PIN31	30	0,04	0,03	23,88	11,94

Tabela 3.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão – outubro de 2012 (Continuação).

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço iônico nº 1	Balanço iônico nº 2
PIN32	219	0,92	0,47	64,38	32,19
PIN33	90	0,41	0,38	9,58	4,79
PIN34	20	0,04	0,03	49,42	24,71
PIN35	116	0,48	0,31	42,28	21,14
STM01	279	1,41	0,79	56,6	28,3
STM02	155	0,94	0,53	56,09	28,05
STM04	157	0,87	0,39	74,93	37,47
STM05	188	1,3	0,7	60,4	30,2
STM06	69	0,16	0,12	31,68	15,84
STM07	101	0,61	0,27	76,58	38,29
STM10	48	0,17	0,23	29,16	14,58
STM12	68	0,14	0,11	18,58	9,29
STM13	13	0,03	0,03	4,49	2,24
STM14	43	0,21	0,16	28,22	14,11
STM15	21	0,04	0,1	74,39	37,19
STM17	206	0,97	0,46	72,12	36,06
STM19	43	0,1	0,08	28,19	14,1
STM20	91	0,26	0,17	40,96	20,48
STM21	83	0,22	0,16	30	15
STM22	195	0,92	0,6	42,89	21,44
STM23	197	0,55	0,23	80,75	40,37
STM24	70	0,24	0,17	35,17	17,59
STM25	141	0,67	0,4	50,95	25,47
STM26	310	1,33	0,6	75,36	37,68
STM27	201	0,95	0,41	78,71	39,35
STM28	202	0,84	0,45	59,62	29,81
STM30	91	0,18	0,1	58,16	29,08
STM31	223	0,99	0,46	74,1	37,05
STM35	20	0,09	0,06	41,53	20,77
STM36	19	0,06	0,05	19,39	9,69
STM37	83	0,33	0,16	69,81	34,9
STM38	99	0,5	0,22	77,27	38,64
STM39	321	1,47	0,62	80,99	40,5
STM40	158	1	0,44	78,28	39,14

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de E_p superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (E_p %), sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). As águas do aquífero Alter do Chão se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que os teores de STD alcançam no máximo 241 mg/L no período chuvoso e 228 mg/L no período de estiagem, quando o VMP desse parâmetro para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, é de 1.000 mg/L.

Convém destacar ainda que as concentrações de STD, assim como dos íons sódio (Na^+), Cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou $\mu g/L$. Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de detecção, indicados, por exemplo, como (<1) foram considerados no cálculo do erro, como 1 $\mu g/L$ (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para mg/L (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados nas amostras do aquífero Alter do Chão não comprometem os resultados analíticos obtidos, pois segundo Younger (1995), os maiores erros de balanço iônico estão associados a águas pouco mineralizadas (como a água da chuva), ou seja, muito diluídas e, também, a águas muito mineralizadas. Tal premissa é coerente, pois de acordo com Tancredi (1996) existe elevada taxa de circulação (renovação) da água subterrânea no sistema hidrológico da Formação Alter do Chão, o que favorece a renovação e diluição dos elementos ali presentes.

3.3 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Alter do Chão foi estimado conforme metodologia descrita no **item 1.8**.

De acordo com os resultados de ITB calculados verifica-se que apenas 20% (14/70) das amostras forneceram valores positivos, indicando o predomínio de cátions nas águas que ali circulam, enquanto que 80% (56/70) apresentaram valores negativos na coleta de abril de 2012 (**tabela 3.3** e **figura 3.1**). Isto revela maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que sugere o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ .

Na coleta de outubro de 2012, 13% (9/70) das amostras apresentaram valores positivos, ao passo que 87% (61/70) obtiveram resultados negativos, como pode ser visualizado na **tabela 3.3**. Tais resultados refletem a maior presença de cátions nas águas (**figura 3.2**).

Tabela 3.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas.

Abril de 2012		Outubro de 2012	
Poço	ITB (meq/L)	Poço	ITB (meq/L)
ALM01	-0,31	ALM01	-0,82
ALM02	-0,38	ALM02	-0,62
ALM03	-0,37	ALM03	-0,96
ALM04	-0,07	ALM04	0,08
ALM05	-0,58	ALM05	-1,05
MAU01	-8,00	MAU01	-0,55
MAU02	-0,44	MAU02	-9,65
MAU03	-1,96	MAU03	-0,15
MAU04	-16,25	MAU04	-10,90
MAU05	-1,33	MAU05	-1,50
MAU06	-1,50	MAU06	-0,66
MAU07	-2,05	MAU07	-0,83
MAU08	-9,27	MAU08	-4,26
MAU09	-2,70	MAU09	-1,29
MAU10	-1,64	MAU10	0,07
MAU11	-3,63	MAU11	-0,80
MAU12	-3,22	MAU12	-0,67
MAU13	-8,47	MAU13	-6,75
MAU14	-4,67	MAU14	-0,35
MAU15	0,33	MAU15	-1,94
MAU16	-0,90	MAU16	-0,52
MAU17	-2,65	MAU17	-0,99
MAU18	-10,17	MAU18	-1,37
MAU19	-8,33	MAU19	-5,15
MAU20	-9,46	MAU20	-0,71
MAU21	-0,60	MAU21	-2,88
MAU22	0,27	MAU22	-0,74
MAU23	-0,26	MAU23	-11,49
MAU24	-3,13	MAU24	-5,31
MAU25	-4,95	MAU25	-2,21
MAU26	0,37	MAU26	-2,80
MAU27	-2,37	MAU27	-0,61
MAU28	-1,92	MAU28	-2,65
MAU29	0,08	MAU29	-0,89
MAU30	0,44	MAU30	-5,67
PIN31	-0,02	PIN31	-0,08
PIN32	0,71	PIN32	-0,40

Tabela 3.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas (Continuação).

Poço	ITB (meq/L)	Poço	ITB (meq/L)
PIN33	0,52	PIN33	0,02
PIN34	0,27	PIN34	0,11
PIN35	0,03	PIN35	-0,30
STM01	-1,29	STM01	-0,39
STM02	-0,88	STM02	-0,74
STM03	-1,11	STM04	-0,85
STM04	-0,83	STM05	-0,47
STM05	-1,75	STM06	-0,15
STM06	-0,31	STM07	-0,63
STM07	-0,76	STM10	0,27
STM08	-0,62	STM12	0,26
STM09	-0,87	STM13	-0,49
STM10	0,05	STM14	-0,99
STM11	-1,04	STM15	0,68
STM12	-0,97	STM17	-0,61
STM13	0,18	STM19	-0,30
STM14	-1,10	STM20	-0,06
STM15	0,40	STM21	0,00
STM16	0,76	STM22	-0,04
STM17	-0,56	STM23	-0,27
STM18	-0,29	STM24	-0,13
STM19	-0,09	STM25	-0,43
STM20	-0,10	STM26	-0,71
STM21	-0,59	STM27	-0,55
STM22	-0,95	STM28	-0,43
STM23	-0,67	STM30	0,00
STM24	-0,09	STM31	-0,58
STM25	-0,97	STM35	-0,45
STM26	-1,06	STM36	-0,12
STM27	-0,33	STM37	-0,40
STM28	-0,68	STM38	-1,13
STM29	-1,06	STM39	-0,61
STM30	0,44	STM40	-0,47

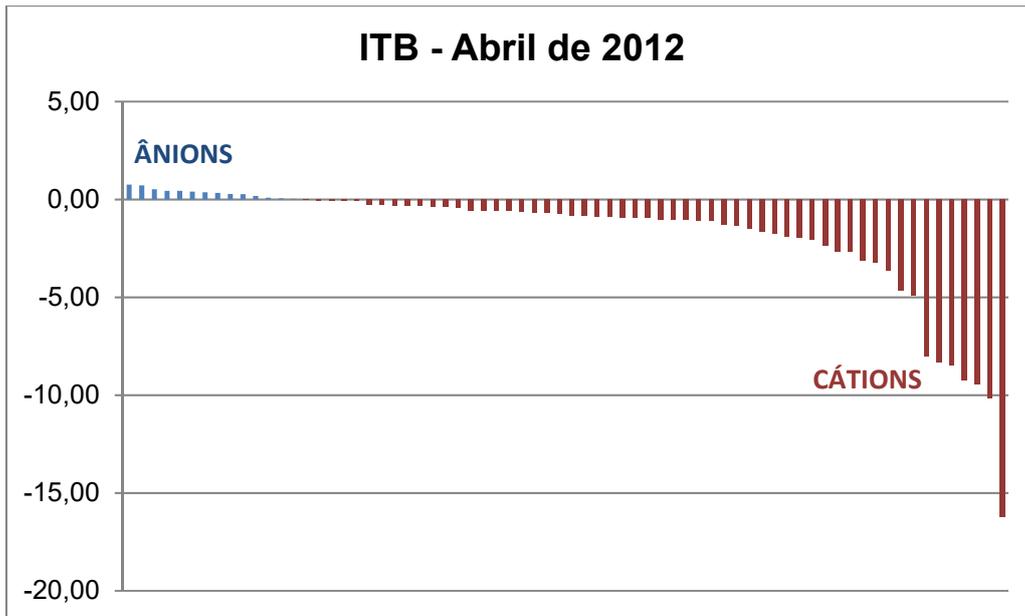


Figura 3.1 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.

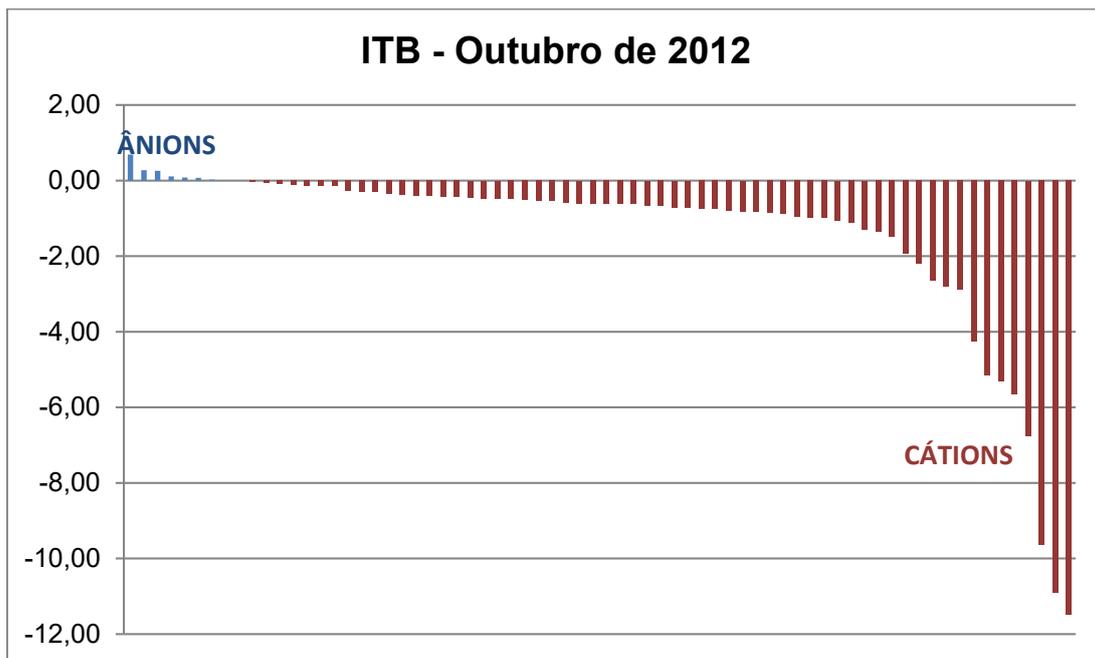


Figura 3.2 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.

Os valores de ITB obtidos nas águas do Aquífero Alter do Chão nas duas campanhas estão coerentes, pois segundo Teixeira (2002), o enriquecimento em alcalinos aumenta a diferença $Cl - (Na + K)$, numerador na equação de Schoeller (1962), o que torna mais negativos os valores de ITB.

Na **tabela 3.4** é apresentada a estatística descritiva dos resultados de ITB calculados, onde se verifica que os valores mínimo e máximo obtidos foram de -16,25 e 0,76; -11,49 e 0,68 para as coletas de abril e outubro de 2012, respectivamente.

Tabela 3.4 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas.

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Média	-1,80	-1,41
Erro padrão	0,37	0,29
Mediana	-0,79	-0,61
Desvio padrão	3,10	2,44
Variância da amostra	9,61	5,94
Curtose	7,32	7,96
Assimetria	-2,58	-2,82
Intervalo	17,01	12,17
Mínimo	-16,25	-11,49
Máximo	0,76	0,68
Soma	-125,71	-98,99
Contagem	70	70
Nível de confiança (95%)	0,74	0,58

Os resultados acima revelados em cada uma das campanhas são justificáveis por conta dos elevados índices pluviométricos da região, que favorecem a diluição dos compostos químicos em solução na água, o que implica no abrandamento das águas com troca de cálcio e magnésio por sódio, tanto no período chuvoso quanto na estiagem.

3.4 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Alter do Chão nas duas campanhas de amostragem, de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A **tabela 3.5** mostra os resultados das principais razões iônicas para as duas campanhas, realizadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

A razão rMg^{2+}/rCa^{2+} indica que 61,4% e 54,3% dos poços, nas campanhas de abril e outubro de 2012, respectivamente possuem águas continentais. Tal razão segundo Hem (1985) também poderia indicar, que 40% dos poços na primeira campanha e 37,1% dos poços na segunda campanha, contém águas continentais ou fluxo através de rochas básicas com possível influência de terrenos dolomíticos.

A razão rNa^+/rCl^- sugere em 80% (56/70) dos poços na primeira campanha e em 87,1% (61/70) dos poços na segunda campanha, águas que, segundo Hem (1985), poderiam ter circulado através de rochas cristalinas ou vulcânicas. Não se sabe até que ponto é possível associar esses indícios com soleiras de diabásio nos poços tubulares da região.

A razão iônica $rCl^-/rHCO_3^-$ mostrou que 71,4% e 84,3% dos poços no período chuvoso e de estiagem, respectivamente, contém águas com ausência de íon bicarbonato.

De acordo com a classificação de Hem (1985) apresentada na **tabela 1.4**, as águas do aquífero Alter do Chão são continentais e possivelmente sofrem influência de terrenos dolomíticos. Essa última sugestão é muito pouco provável porque na região do aquífero Alter do Chão predominam rochas sedimentares clásticas, que apresentam-se inconsolidadas ou pouco consolidadas e são de composição predominantemente quartzosa e não há registro de presença de dolomitos na região.

Tratando-se de uma pesquisa em ambiente urbano, nada exclui a possibilidade de que os valores mais altos das razões iônicas, inclusive os anômalos, resultem de contaminação pela ausência de esgotamento sanitário e podem produzir desvios muito fortes nos dados.

Tabela 3.5 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas.

Razões iônicas - Período chuvoso				Razões iônicas - Período seco			
Poço	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	Poço	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
ALM01	0,44	1,21	2,51	ALM01	1,07	1,69	-
ALM02	0,90	1,33	-	ALM02	0,68	1,51	-
ALM03	0,68	1,29	-	ALM03	0,82	1,86	-
ALM04	0,87	1,02	-	ALM04	0,33	0,85	3,88
ALM05	0,75	1,49	-	ALM05	1,22	1,95	-
MAU01	2,52	2,02	-	MAU01	2,14	0,44	1,04
MAU02	0,70	0,10	-	MAU02	0,74	1,82	0,08
MAU03	1,40	2,79	4,42	MAU03	0,12	0,99	-
MAU04	7,55	1,19	0,12	MAU04	7,97	1,21	0,09
MAU05	3,53	1,95	0,01	MAU05	0,80	1,78	-
MAU06	0,46	2,02	0,74	MAU06	0,31	1,50	-
MAU07	0,50	2,88	-	MAU07	0,51	1,65	-
MAU08	6,79	0,56	0,16	MAU08	1,75	0,90	0,11
MAU09	1,49	1,72	-	MAU09	1,09	1,57	-
MAU10	1,42	2,62	-	MAU10	0,26	0,91	-
MAU11	1,71	4,53	1,05	MAU11	1,56	1,71	-
MAU12	4,25	0,60	0,25	MAU12	1,72	1,62	-
MAU13	6,83	0,93	0,17	MAU13	1,00	1,31	0,11

Tabela 3.5 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas (Continuação).

Razões Iônicas - Período chuvoso				Razões Iônicas - Período seco			
Poço	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	Poço	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
MAU14	2,45	0,90	0,14	MAU14	0,38	1,22	-
MAU15	0,48	0,62	-	MAU15	1,97	2,30	-
MAU16	1,10	1,45	0,21	MAU16	0,30	0,91	0,22
MAU17	0,85	2,53	6,88	MAU17	3,45	0,97	-
MAU18	2,50	2,18	0,12	MAU18	1,18	1,72	-
MAU19	4,83	1,00	0,16	MAU19	1,03	1,13	-
MAU20	3,18	0,93	0,07	MAU20	0,31	1,65	-
MAU21	1,11	1,54	-	MAU21	0,28	0,80	-
MAU22	0,40	0,66	3,44	MAU22	39,19	1,74	-
MAU23	3,07	1,14	-	MAU23	2,14	3,55	-
MAU24	2,87	0,48	0,11	MAU24	0,71	1,49	-
MAU25	1,90	1,34	3,44	MAU25	2,63	2,72	-
MAU26	0,12	0,46	-	MAU26	1,26	2,89	0,08
MAU27	59,50	0,50	-	MAU27	0,76	1,14	-
MAU28	2,68	2,44	-	MAU28	106,58	1,35	-
MAU29	0,96	0,77	-	MAU29	0,48	1,78	-
MAU30	1,48	0,34	3,44	MAU30	0,24	4,59	0,16
PIN31	0,39	0,94	-	PIN31	0,57	0,86	-
PIN32	0,23	0,21	-	PIN32	0,32	1,28	-
PIN33	0,44	0,38	-	PIN33	0,21	0,96	-
PIN34	0,70	0,72	-	PIN34	0,30	0,70	-
PIN35	0,46	0,90	-	PIN35	0,37	1,21	-
STM01	0,30	1,73	-	STM01	0,24	1,19	-
STM02	1,45	1,81	-	STM02	1,09	1,68	-
STM03	0,24	1,67	-	STM04	0,51	1,66	-
STM04	0,49	1,49	-	STM05	0,39	1,22	5,42
STM05	0,41	1,81	-	STM06	0,40	0,99	-
STM06	0,53	1,23	-	STM07	0,45	1,44	-
STM07	0,33	1,43	-	STM10	2,53	0,68	-
STM08	0,26	1,24	-	STM12	0,79	0,51	-
STM09	0,73	1,42	-	STM13	0,85	1,41	-
STM10	1,71	0,91	-	STM14	0,58	1,77	0,52
STM11	0,60	1,93	-	STM15	1,31	0,28	-
STM12	0,74	1,86	-	STM17	0,30	1,42	-
STM13	1,61	0,81	-	STM19	7,76	0,92	-
STM14	0,79	1,86	-	STM20	1,01	0,69	-

Tabela 3.5 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas (Continuação).

Razões Iônicas - Período chuvoso				Razões Iônicas - Período seco			
Poço	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	Poço	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
STM15	1,23	0,57	-	STM21	0,76	0,70	-
STM16	0,48	0,21	-	STM22	0,44	0,85	-
STM17	0,45	1,39	-	STM23	0,76	0,96	-
STM18	0,48	1,07	-	STM24	0,67	0,94	-
STM19	0,80	0,86	-	STM25	0,40	1,21	-
STM20	0,66	0,76	-	STM26	0,44	1,53	-
STM21	0,45	1,23	-	STM27	0,27	1,35	-
STM22	0,20	1,51	-	STM28	0,32	1,29	-
STM23	0,82	1,53	-	STM30	0,57	0,52	-
STM24	0,74	0,95	-	STM31	0,31	1,35	-
STM25	0,28	1,56	-	STM35	48,04	0,92	-
STM26	0,21	1,69	-	STM36	10,17	0,62	-
STM27	0,37	1,13	-	STM37	0,36	1,18	-
STM28	1,39	1,46	-	STM38	1,00	1,94	-
STM29	0,45	1,87	2,26	STM39	0,35	1,32	-
STM30	0,55	0,41	-	STM40	0,23	1,32	-

Legenda:

Os valores simbolizados com (-) são indefinidos (divisão por zero), pois se referem a ausência de bicarbonato na razão iônica cloreto/bicarbonato.

3.5 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Alter do Chão nas duas campanhas de amostragem, para verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS apresentada na **tabela 1.6**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Alter do Chão, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), podem ser observados na **tabela 3.6**.

Todas as amostras, em ambas as coletas, apresentaram resultados de IS negativos, o que sugere que as águas não possuem características incrustantes.

Os resultados mostram que no período chuvoso o IS variou de -7,69 a -1,24 e no período seco de -6,33 a -2,87, indicando águas subsaturadas em relação à calcita e com tendência a dissolver $CaCO_{3(s)}$. Isto ocorre porque as águas do aquífero Alter do Chão são ácidas, variando o pH *in situ* mínimo de 3,12 no período chuvoso a 3,9 no período de estiagem, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

Tabela 3.6 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas.

Poço	IS-1	Poço	IS-2
ALM01	-1,90	ALM01	-4,63
ALM02	-4,43	ALM02	-4,46
ALM03	-3,91	ALM03	-4,67
ALM04	-3,72	ALM04	-3,17
ALM05	-3,78	ALM05	-4,81
MAU01	-3,54	MAU01	-3,73
MAU02	-1,24	MAU02	-2,87
MAU03	-6,43	MAU03	-4,17
MAU04	-3,28	MAU04	-3,29
MAU05	-3,45	MAU05	-5,28
MAU06	-3,70	MAU06	-4,68
MAU07	-3,56	MAU07	-4,18
MAU08	-3,85	MAU08	-4,25
MAU09	-5,72	MAU09	-4,68
MAU10	-5,22	MAU10	-5,33
MAU11	-2,59	MAU11	-5,38
MAU12	-5,28	MAU12	-5,27
MAU13	-2,98	MAU13	-4,23
MAU14	-3,75	MAU14	-5,29
MAU15	-4,28	MAU15	-5,54
MAU16	-4,08	MAU16	-5,05
MAU17	-3,83	MAU17	-4,84
MAU18	-2,18	MAU18	-3,74
MAU19	-3,41	MAU19	-4,21
MAU20	-1,69	MAU20	-5,24
MAU21	-4,48	MAU21	-4,83
MAU22	-4,53	MAU22	-6,33
MAU23	-2,79	MAU23	-3,86
MAU24	-3,09	MAU24	-4,80
MAU25	-2,56	MAU25	-5,18
MAU26	-2,92	MAU26	-4,05
MAU27	-3,25	MAU27	-5,17
MAU28	-3,42	MAU28	-5,56
MAU29	-4,66	MAU29	-5,39
MAU30	-4,19	MAU30	-3,38
PIN31	-6,72	PIN31	-5,20
PIN32	-6,23	PIN32	-4,78
PIN33	-6,42	PIN33	-4,74

Tabela 3.6 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas (Continuação).

Poço	IS-1	Poço	IS-2
PIN34	-7,69	PIN34	-4,69
PIN35	-6,40	PIN35	-4,46
STM01	-5,89	STM01	-4,12
STM02	-6,64	STM02	-5,03
STM03	-6,18	STM04	-4,92
STM04	-5,86	STM05	-3,05
STM05	-3,23	STM06	-5,48
STM06	-6,33	STM07	-3,77
STM07	-5,86	STM10	-5,56
STM08	-5,68	STM12	-5,37
STM09	-6,21	STM13	-6,10
STM10	-6,96	STM14	-4,68
STM11	-6,51	STM15	-5,26
STM12	-6,02	STM17	-4,83
STM13	-5,55	STM19	-5,60
STM14	-4,69	STM20	-5,15
STM15	-6,46	STM21	-5,77
STM16	-6,50	STM22	-4,78
STM17	-6,10	STM23	-4,41
STM18	-5,90	STM24	-5,43
STM19	-6,88	STM25	-4,58
STM20	-5,99	STM26	-4,87
STM21	-6,04	STM27	-5,14
STM22	-5,30	STM28	-3,43
STM23	-6,45	STM30	-4,95
STM24	-6,40	STM31	-4,81
STM25	-5,84	STM35	-5,17
STM26	-5,76	STM36	-5,43
STM27	-6,28	STM37	-4,61
STM28	-5,07	STM38	-5,49
STM29	-6,19	STM39	-4,67
STM30	-6,41	STM40	-4,14

3.6 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas

Alguns parâmetros físico-químicos analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação, conforme metodologia descrita no **item 1.11**, a qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação (ρ).

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos, o panorama das correlações no período chuvoso (abril de 2012), conforme **tabela 3.7**, é o seguinte:

- A maioria das correlações (81/136), ou seja, 60% são Não Significativas, dos tipos, muito fracas (79/136) e fracas (2/136);
- As correlações Significativas satisfazem apenas 7% (10/136), sendo todas fracas;
- As correlações Muito Significativas correspondem a 33% (45/136), sendo 08 fracas, 18 moderadas, 11 fortes e 8 muito fortes.

Tabela 3.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – abril de 2012.

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Alcalinidade	CO ₃	0	ns
Alcalinidade	Fe	-0,0346	ns
Alcalinidade	HCO ₃	0,9957	**
Alcalinidade	NH ₃	-0,0031	ns
Alcalinidade	NO ₂	-0,005	ns
Alcalinidade	NO ₃	-0,1437	ns
Ca	Alcalinidade	-0,0977	ns
Ca	CE	0,8343	**
Ca	Cl	0,7937	**
Ca	CO ₃	0	ns
Ca	Eh	0,1535	ns
Ca	Fe	0,0068	ns
Ca	HCO ₃	-0,09	ns
Ca	Mg	0,8358	**
Ca	NH ₃	0,2787	*
Ca	NO ₂	0,0104	ns
Ca	NO ₃	0,8552	**
Ca	pH	-0,315	**
Ca	SO ₄	0,5641	**
Ca	STD	0,8372	**
CE	Alcalinidade	-0,1692	ns
CE	CO ₃	0	ns

Tabela 3.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
CE	Eh	0,3718	**
CE	Fe	0,0475	ns
CE	HCO ₃	-0,1498	ns
CE	NH ₃	0,1663	ns
CE	NO ₂	0,0639	ns
CE	NO ₃	0,9476	**
CE	pH	-0,5218	**
CE	STD	0,9501	**
Cl	Alcalinidade	-0,1493	ns
Cl	CE	0,8965	**
Cl	CO ₃	0	ns
Cl	Eh	0,2988	*
Cl	Fe	0,0563	ns
Cl	HCO ₃	-0,1314	ns
Cl	NH ₃	0,2348	*
Cl	NO ₂	0,0042	ns
Cl	NO ₃	0,8771	**
Cl	pH	-0,4722	**
Cl	SO ₄	0,4511	**
Cl	STD	0,8711	**
CO ₃	HCO ₃	0	ns
Eh	Alcalinidade	-0,0614	ns
Eh	CO ₃	0	ns
Eh	Fe	0,1058	ns
Eh	HCO ₃	-0,0522	ns
Eh	NH ₃	0,1104	ns
Eh	NO ₂	0,0629	ns
Eh	NO ₃	0,3632	**
Fe	CO ₃	0	ns
Fe	HCO ₃	-0,0493	ns
K	Alcalinidade	-0,0239	ns
K	Ca	0,462	**
K	CE	0,302	*
K	Cl	0,2698	*

Tabela 3.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
K	CO ₃	0	ns
K	Eh	0,0011	ns
K	Fe	-0,1507	ns
K	HCO ₃	-0,0331	ns
K	Mg	0,6026	**
K	NH ₃	0,0697	ns
K	NO ₂	-0,0466	ns
K	NO ₃	0,2903	*
K	pH	0,0702	ns
K	SO ₄	0,4112	**
K	STD	0,3028	*
Mg	Alcalinidade	-0,0599	ns
Mg	CE	0,6802	**
Mg	Cl	0,6849	**
Mg	CO ₃	0	ns
Mg	Eh	0,1451	ns
Mg	Fe	0,04	ns
Mg	HCO ₃	-0,0663	ns
Mg	NH ₃	0,2255	ns
Mg	NO ₂	0,0123	ns
Mg	NO ₃	0,6905	**
Mg	pH	-0,1082	ns
Mg	SO ₄	0,5248	**
Mg	STD	0,7325	**
Na	Alcalinidade	-0,1338	ns
Na	Ca	0,7977	**
Na	CE	0,917	**
Na	Cl	0,9441	**
Na	CO ₃	0	ns
Na	Eh	0,3268	**
Na	Fe	0,1105	ns
Na	HCO ₃	-0,1174	ns
Na	K	0,2581	*

Tabela 3.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Na	Mg	0,6477	**
Na	NH ₃	0,2704	*
Na	NO ₂	0,104	ns
Na	NO ₃	0,9273	**
Na	pH	-0,4536	**
Na	SO ₄	0,3408	**
Na	STD	0,9004	**
NH ₃	CO ₃	0	ns
NH ₃	Fe	0,2473	*
NH ₃	HCO ₃	0,0002	ns
NO ₂	CO ₃	0	ns
NO ₂	Fe	0,7522	**
NO ₂	HCO ₃	-0,0196	ns
NO ₂	NH ₃	0,3047	**
NO ₂	NO ₃	0,0817	ns
NO ₃	CO ₃	0	ns
NO ₃	Fe	0,0708	ns
NO ₃	HCO ₃	-0,1257	ns
NO ₃	NH ₃	0,206	ns
pH	Alcalinidade	0,143	ns
pH	CO ₃	0	ns
pH	Eh	-0,6201	**
pH	Fe	0,0885	ns
pH	HCO ₃	0,095	ns
pH	NH ₃	0,0326	ns
pH	NO ₂	0,0825	ns
pH	NO ₃	-0,5049	**
SO ₄	Alcalinidade	-0,0452	ns
SO ₄	CE	0,4477	**
SO ₄	CO ₃	0	ns
SO ₄	Eh	-0,0787	ns

Tabela 3.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
SO ₄	Fe	-0,0383	ns
SO ₄	HCO ₃	-0,0471	ns
SO ₄	NH ₃	0,0255	ns
SO ₄	NO ₂	-0,0289	ns
SO ₄	NO ₃	0,3563	**
SO ₄	pH	-0,0505	ns
SO ₄	STD	0,4346	**
STD	Alcalinidade	-0,158	ns
STD	CO ₃	0	ns
STD	Eh	0,3514	**
STD	Fe	0,0446	ns
STD	HCO ₃	-0,1466	ns
STD	NH ₃	0,1683	ns
STD	NO ₂	0,0661	ns
STD	NO ₃	0,9127	**
STD	pH	-0,4654	**

Legenda:

** = significativo ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$)

* = significativo ao nível de 5% de significância ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns = não significativo ($p \geq 0,05$)

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se, como demonstra a **tabela 3.8**, que:

- A maioria das correlações (80/136), o que equivale a 58,8%, são Não Significativas, classificadas como muito fracas (73) e fracas (07);
- As correlações Significativas equivalem a 6,6% (9/136), sendo todas fracas;
- Existem 34,6% (47/136) de correlações Muito Significativas, das quais 10 são do tipo fraca, 15 moderadas, 14 fortes e 8 muito fortes.

Tabela 3.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – outubro de 2012.

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Alcalinidade	NO ₃	-0,2284	ns
Alcalinidade	NO ₂	-0,0348	ns
Alcalinidade	NH ₃	-0,0244	ns
Alcalinidade	HCO ₃	0,8995	**
Alcalinidade	CO ₃	0	ns
Alcalinidade	Fe	0,0107	ns
Ca	Eh	-0,1936	ns
Ca	pH	-0,268	*
Ca	SO ₄	0,4964	**
Ca	Cl	0,7707	**
Ca	NO ₃	0,7744	**
Ca	NO ₂	-0,0395	ns
Ca	Fe	-0,0245	ns
Ca	NH ₃	0,2384	*
Ca	Mg	0,8128	**
Ca	CE	0,8193	**
Ca	STD	0,8252	**
Ca	CO ₃	0	ns
Ca	Alcalinidade	0,0686	ns
Ca	HCO ₃	0,0731	ns
CE	pH	-0,5134	**
CE	NH ₃	0,3053	**
CE	HCO ₃	-0,1765	ns
CE	Alcalinidade	-0,1479	ns
CE	Eh	-0,0964	ns
CE	Fe	-0,0314	ns
CE	NO ₂	-0,0313	ns
CE	CO ₃	0	ns
CE	NO ₃	0,9436	**
CE	STD	0,989	**
Cl	pH	-0,4246	**
Cl	NH ₃	0,3552	**

Tabela 3.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Cl	HCO ₃	-0,1315	ns
Cl	Alcalinidade	-0,0982	ns
Cl	Eh	-0,078	ns
Cl	NO ₂	-0,0158	ns
Cl	Fe	-0,0018	ns
Cl	NO ₃	0,8743	**
Cl	CO ₃	0	ns
Cl	STD	0,9242	**
Cl	CE	0,9324	**
Cl	SO ₄	0,2114	ns
CO ₃	HCO ₃	0	ns
Eh	Fe	-0,2321	ns
Eh	NO ₃	-0,1698	ns
Eh	NO ₂	-0,1386	ns
Eh	HCO ₃	-0,1383	ns
Eh	Alcalinidade	-0,0581	ns
Eh	NH ₃	-0,0081	ns
Eh	CO ₃	0	ns
Fe	CO ₃	0	ns
Fe	HCO ₃	0,0127	ns
K	SO ₄	0,3084	**
K	Cl	0,3913	**
K	NO ₃	0,4582	**
K	CE	0,4824	**
K	STD	0,5062	**
K	Fe	-0,0855	ns
K	Ca	0,555	**
K	Eh	-0,064	ns
K	NO ₂	-0,0539	ns
K	Mg	0,7371	**
K	CO ₃	0	ns
K	pH	0,0882	ns

Tabela 3.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
K	HCO ₃	0,2774	*
K	Alcalinidade	0,2028	ns
K	NH ₃	0,2068	ns
Mg	Eh	-0,1729	ns
Mg	pH	-0,1589	ns
Mg	SO ₄	0,4512	**
Mg	Cl	0,7009	**
Mg	NO ₃	0,7331	**
Mg	NO ₂	-0,0528	ns
Mg	Fe	-0,0406	ns
Mg	STD	0,7768	**
Mg	CE	0,7825	**
Mg	CO ₃	0	ns
Mg	Alcalinidade	0,1475	ns
Mg	NH ₃	0,1654	ns
Mg	HCO ₃	0,2112	ns
Na	pH	-0,4106	**
Na	NH ₃	0,3189	**
Na	K	0,3561	**
Na	HCO ₃	-0,1624	ns
Na	Alcalinidade	-0,1066	ns
Na	Mg	0,6335	**
Na	Ca	0,6514	**
Na	Eh	-0,0145	ns
Na	CO ₃	0	ns
Na	NO ₃	0,8808	**
Na	STD	0,8915	**
Na	CE	0,9065	**
Na	NO ₂	0,0085	ns
Na	Cl	0,9418	**
Na	Fe	0,0151	ns
Na	SO ₄	0,1702	ns
NH ₃	HCO ₃	-0,0634	ns

Tabela 3.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
NH ₃	CO ₃	0	ns
NH ₃	Fe	0,2641	*
NO ₂	HCO ₃	-0,0495	ns
NO ₂	NH ₃	0,2557	*
NO ₂	CO ₃	0	ns
NO ₂	NO ₃	0,0646	ns
NO ₂	Fe	0,9784	**
NO ₃	NH ₃	0,3141	**
NO ₃	HCO ₃	-0,236	*
NO ₃	CO ₃	0	ns
NO ₃	Fe	0,0658	ns
pH	NO ₃	-0,5411	**
pH	NH ₃	-0,1609	ns
pH	Alcalinidade	0,4449	**
pH	HCO ₃	0,4754	**
pH	CO ₃	0	ns
pH	Fe	0,1194	ns
pH	NO ₂	0,1313	ns
pH	Eh	0,1523	ns
SO ₄	Fe	0,3113	**
SO ₄	NO ₂	0,3202	**
SO ₄	Eh	-0,1066	ns
SO ₄	Alcalinidade	0,2359	*
SO ₄	CE	0,2505	*
SO ₄	CO ₃	0	ns
SO ₄	NH ₃	0,0185	ns
SO ₄	pH	0,1436	ns
SO ₄	NO ₃	0,1761	ns
SO ₄	STD	0,2879	*
SO ₄	HCO ₃	0,2222	ns

Tabela 3.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Alter do Chão – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
STD	pH	-0,4927	**
STD	HCO ₃	-0,1706	ns
STD	NH ₃	0,3267	**
STD	Alcalinidade	-0,1347	ns
STD	Eh	-0,077	ns
STD	NO ₂	-0,0174	ns
STD	Fe	-0,0164	ns
STD	CO ₃	0	ns
STD	NO ₃	0,9297	**

Legenda:

** = significativo ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$)

* = significativo ao nível de 5% de significância ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns = não significativo ($p \geq 0,05$)

Conclusão sobre as correlações nas duas campanhas

Das 136 correlações de parâmetros químicos apresentadas em cada uma das campanhas, conforme **tabelas 3.7 e 3.8**, verifica-se que em termos médios 59,4% são Não Significativas. As correlações Significativas representam apenas 6,8% do total, enquanto que as correlações Muito Significativas, resultantes do Teste t ao nível de 1%, correspondem a 33,8% do total.

As correlações existentes entre Na (sódio), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), CE (condutividade elétrica) e STD (sólidos totais dissolvidos) indicam influência do intemperismo químico, por conta da baixa presença de íons, haja vista que os seus teores foram encontrados em poucas quantidades, o que corrobora com a ideia de que esses elementos foram liberados há anos ao longo da interação água x rocha, e que se apresentam extremamente diluídos devido a elevada precipitação associada a constante renovação das águas na planície amazônica.

Os parâmetros Na (sódio), K (potássio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica), STD (sólidos totais dissolvidos) e NO₃ (nitrato) apresentaram correlação entre si, o que sugere poluição nas águas subterrâneas oriunda de atividade antrópica, principalmente lançamento de esgoto *in natura*, haja vista que tais constituintes representam uma medida indireta de concentração de poluentes. Além disso, as correlações significativas e altamente significativas envolvendo o nitrato se deve principalmente ao contato das águas subterrâneas com as fossas negras, vazamento nas redes coletoras de esgoto e influência de rios próximos à área de captação dos poços. Tal justificativa é plausível na área de estudo, haja vista a ausência de esgotamento sanitário e a falta de proteção sanitária na instalação dos poços.

3.7 – Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas do Aquífero Alter do Chão

3.7.1 – Cor

A estatística descritiva da cor realizada com base na metodologia estabelecida no **item 1.6** e apresentada na **tabela 3.9** variou no ano de 2012, de 4,9 a 102 uH no período chuvoso, com média de 12,48 uH e mediana de 4,9 uH. No período seco, a variação entre o mínimo e o máximo foi de 4,9 a 15,0 uH, com média de 5,16 uH e mediana de 4,9 uH.

Tabela 3.9 – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Cor-1	70	12,48	7,22	17,70	4,9	4,9	102,0	22,05	2,64	2,84
Cor-2	70	5,16	4,84	5,48	4,9	4,9	15,0	1,36	0,16	6,38

No período chuvoso, 66% (46/70) das amostras coletadas, apresentaram valores de cor < 5 uH; enquanto que no período de estiagem, foram 93% (65/70) das amostras, com valores inferiores ao LD (limite de detecção), conforme descrito no **item 1.6**.

Dentre os valores quantificáveis na primeira campanha, 10% (7/70) ultrapassaram o VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011, conforme descrito no **item 2.1**. Esses resultados se devem provavelmente a pontos de contaminação local, haja vista que os poços estão localizados em área urbana e não possuem a devida proteção sanitária.

Os histogramas de frequência da cor ilustrados na **figura 3.3** nos dois períodos de amostragem foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para cor com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.10**).

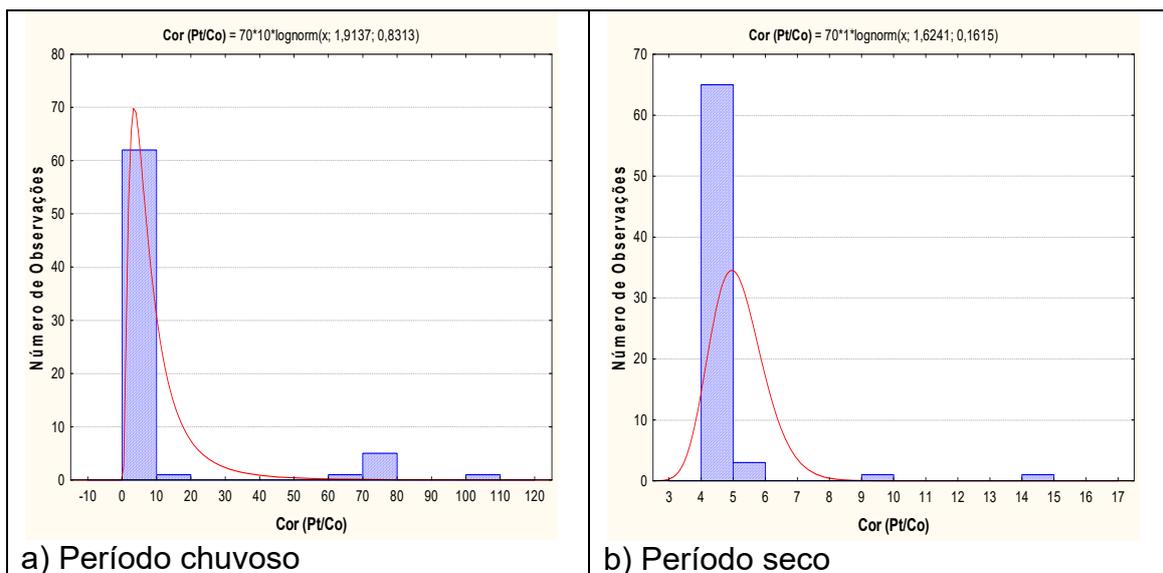


Figura 3.3 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Sendo assim, com base nos dados de média e valores máximos, observa-se que os valores de cor no período chuvoso são superiores quando comparados aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

Contudo, acredita-se que tal premissa não se aplica a área de estudo, haja vista que a maioria dos valores nas duas campanhas de amostragem foram abaixo do limite de detecção, ou seja, inferior a 5 uH.

Dessa forma, fica evidente que o viés estatístico se deve a presença de valores anômalos na primeira campanha, inclusive acima dos limites de potabilidade para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, o que ratifica a ideia de influência antrópica, ocasionada principalmente por contaminações locais, as quais se elevam sobretudo no período chuvoso, quando as águas superficiais inundam a região, infiltram e se misturam as águas subterrâneas.

Tabela 3.10 – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cor-1	6,78	3,37	2,34	1,73	1,23	0,98
Cor-2	5,07	4,43	4,12	3,89	3,64	3,48
Razão	1,3	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3

3.7.2 – Turbidez

Os valores de turbidez do aquífero Alter do Chão analisados na estatística descritiva (**tabela 3.11**) variaram no período chuvoso de 0,09 a 8,2 uT, com média de 0,84 uT e mediana de 0,43 uT; enquanto que no período seco, se distribuíram entre 0,09 a 13 uT, com média de 0,29 uT e mediana de 0,09 uT.

Tabela 3.11 – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

Tu	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Tu-1	70	0,84	0,53	1,15	0,43	0,09	8,2	1,31	0,16	3,54
Tu-2	70	0,29	-0,08	0,65	0,09	0,09	13,0	1,54	0,18	8,34

Na primeira e segunda campanha, respectivamente, 21% (15/70) e 96% (67/70) das amostras apresentaram valores de turbidez abaixo do limite de detecção de 0,1 uT.

No período chuvoso, 3% (2/70) dos poços apresentaram valores acima do VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.2**), enquanto que no período de estiagem, foi apenas 1% (1/70) dos poços.

Os histogramas de frequência da turbidez nos dois períodos de amostragem (**figura 3.4**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 3.12**) que os valores de turbidez são maiores no período chuvoso, indicando que há influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é superior a 1 (um).

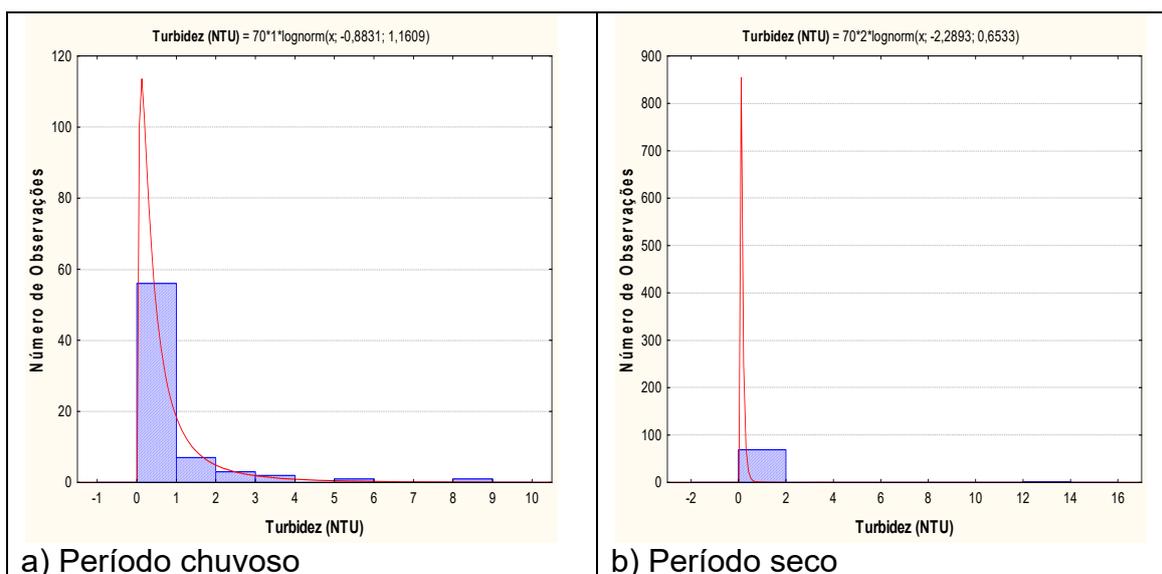


Figura 3.4 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Isto, provavelmente, se deve ao fato de que no período chuvoso, que coincide com a época de cheias, a água da chuva escoa pelo solo e carrega consigo sedimentos que permanecem em suspensão na água tornando-a mais turva, a qual entra em contato com as águas subterrâneas por meio dos poços mal protegidos.

Tabela 3.12 – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Tu-1	0,41	0,16	0,09	0,06	0,04	0,03
Tu-2	0,1	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02
Razão	4,1	2,7	2,3	2,0	1,3	1,5

3.7.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) das águas do aquífero Alter do Chão, de acordo com a estatística descritiva (**tabela 3.13**), variou no período chuvoso (abril de 2012), de 12 a 338 $\mu\text{S/cm}$, com média de 94,27 $\mu\text{S/cm}$ e mediana de 61,5 $\mu\text{S/cm}$. No período seco (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 8,7 a 321 $\mu\text{S/cm}$, com média igual a 91,26 e mediana de 63,5 $\mu\text{S/cm}$.

Tabela 3.13 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do aquífero Alter do Chão no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

CE	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CE-1	70	94,27	74,20	114,30	61,50	12,0	338,0	84,17	10,06	1,22
CE-2	70	91,26	71,63	110,90	63,50	8,7	321,0	82,35	9,84	1,02

De modo geral, os valores de CE no aquífero Alter do Chão são baixos, haja vista que 89% (62/70) e 84% (59/70) dos poços, respectivamente na primeira e segunda campanha apresentaram valores abaixo de 200 $\mu\text{S/cm}$, que é considerado baixo. Tais resultados são reflexo dos altos índices de precipitação pluviométrica da Região Amazônica, associada a elevada frequência das chuvas, que assegura uma quase permanente renovação das águas dos aquíferos e dos rios ali presentes.

Os valores de CE acima de 200 $\mu\text{S/cm}$ encontrados na primeira campanha em 11% (8/70) das amostras, e na segunda campanha em 16% (11/70) dos poços são coerentes, pois segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica depende da composição iônica dos corpos d'água, e pode ser influenciada também pelo volume de chuvas, o que é bastante frequente na região estudada.

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2 $\mu\text{S/cm}$; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500 $\mu\text{S/cm}$; e água poluída, quando a CE é $> 10.000 \mu\text{S/cm}$. Nesse caso, as águas do aquífero Alter do Chão, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potável.

Os histogramas de frequência da CE nos dois períodos de amostragem (**figura 3.5**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 3.14**) que os

valores de CE estimados para o período chuvoso são maiores quando comparados ao do período de estiagem, indicando que há influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é superior a 1 (um).

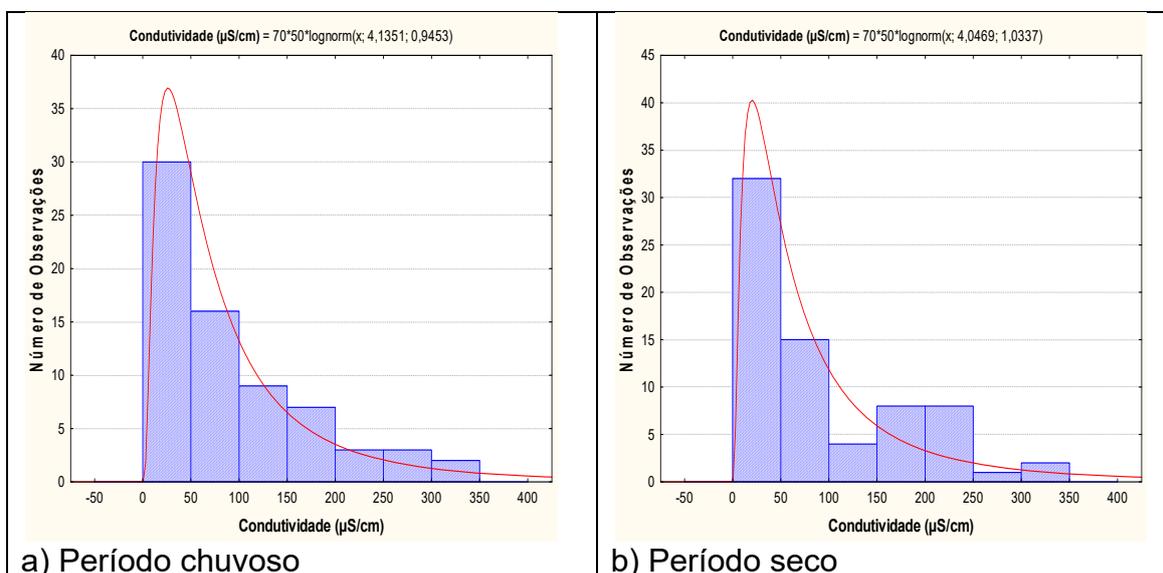


Figura 3.5 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Tais resultados são justificáveis, pois no período chuvoso as águas encontram-se mais ricas em sólidos dissolvidos, o que também contribui para a elevação da CE.

Outro fator que também pode explicar a elevação da condutividade elétrica no período chuvoso é a ausência de esgotamento sanitário na área de estudo, que contribui para que as águas superficiais provenientes do *run off* se misturem com o esgoto lançado a céu aberto, contaminando as águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão. Tal assertiva pode ser ratificada pela correlação significativa entre as variáveis CE, STD e NO₃ como pode ser observado no **item 3.6**.

Tabela 3.14 – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CE-1	62,5	28,21	18,61	13,2	8,97	6,93
CE-2	57,22	23,97	15,21	10,45	6,85	5,17
Razão	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3

3.7.4 – Temperatura

A estatística descritiva da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão (**tabela 3.15**) indica que no período chuvoso (abril de 2012), a temperatura das águas coletadas no aquífero variou de 26°C a 33°C, apresentando uma amplitude térmica de 7°C, com média de 29,17°C e mediana igual a 29°C. No período de estiagem (outubro de 2012), as temperaturas variaram de 26,1°C a 33,5°C, o que equivale a uma amplitude térmica de 7,4°C, com média igual a 28,36°C e mediana de 28,25°C.

Os valores máximos encontrados em ambos os períodos de coleta, possivelmente decorrem da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas, uma vez que as águas do aquífero Alter do Chão são influenciadas pelas águas superficiais.

Tabela 3.15 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

T (°C)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
T-1	70	29,17	28,84	29,51	29,00	26,0	33,0	1,40	0,17	0,55
T-2	70	28,36	28,06	28,65	28,25	26,1	33,5	1,25	0,15	1,06

Os histogramas de frequência da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão, modelados por curvas normais de distribuição de probabilidade na amostragem do período chuvoso (abril de 2012) e do período de estiagem, em outubro de 2012, são mostrados na **figura 3.6**.

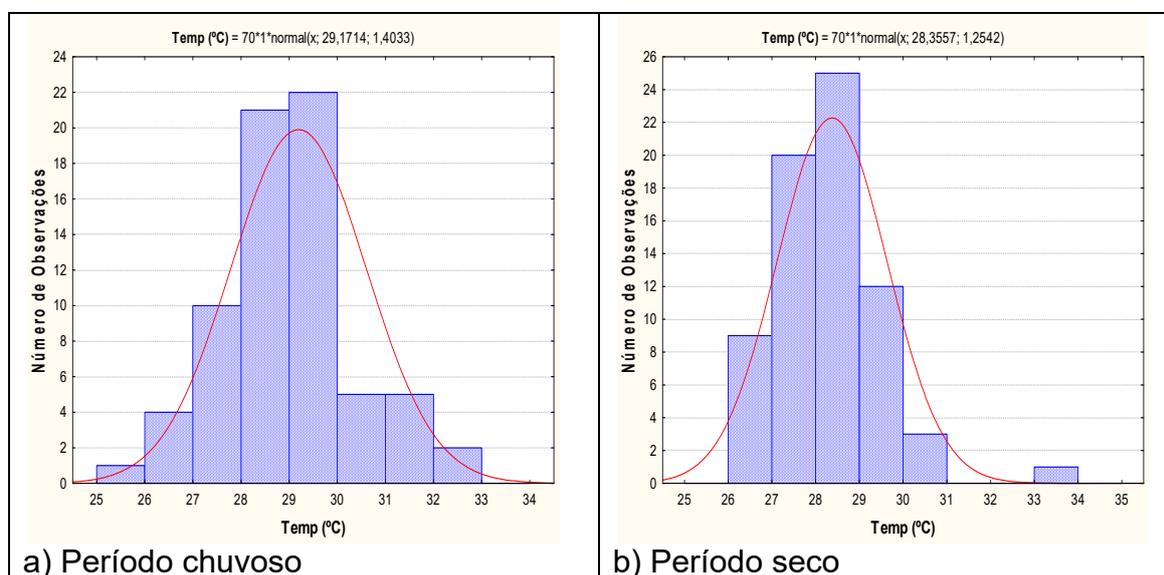


Figura 3.6 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados da **tabela 3.16** permitem concluir que as temperaturas das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão são muito próximas em ambas as campanhas, sugerindo que não há influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores nas duas campanhas é igual a 1 (um).

Tabela 3.16 – Distribuição de probabilidade do Temperatura (°C) do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
T-1	29,17	27,99	27,37	26,86	26,29	25,91
T-2	28,36	27,3	26,75	26,29	25,78	25,44
Razão	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

3.7.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

De acordo com Suassuna (2007), na maioria das águas naturais, os sólidos totais dissolvidos (STD) se relacionam com a condutividade elétrica (CE) através de uma equação linear com coeficiente angular situado na faixa de 0,55 a 0,75. No caso do aquífero Alter do Chão, os dados desses parâmetros são apresentados na **tabela 3.17**.

Tabela 3.17 – Valores de condutividade elétrica CE (μS/cm) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas de amostragem.

Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
Poço	CE (μS/cm)	STD (mg/L)	Poço	CE (μS/cm)	STD (mg/L)
ALM01	197	173	ALM01	215	143
ALM02	184	140	ALM02	159	98
ALM03	207	151	ALM03	207	133
ALM04	59	44	ALM04	181	134
ALM05	148	106	ALM05	223	139
MAU01	64	46	MAU01	53	32
MAU02	60	41	MAU02	58	44
MAU03	142	100	MAU03	30	24
MAU04	37	26	MAU04	19	16
MAU05	16	10	MAU05	17	16
MAU06	63	46	MAU06	75	62
MAU07	136	93	MAU07	70	56
MAU08	20	15	MAU08	18	17
MAU09	85	60	MAU09	94	100
MAU10	96	63	MAU10	16	15
MAU11	44	32	MAU11	45	33
MAU12	20	16	MAU12	16	14
MAU13	21	16	MAU13	21	17

Tabela 3.17 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S/cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas de amostragem (Continuação).

Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
Poço	CE ($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)	Poço	CE ($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)
MAU14	17	12	MAU14	44	28
MAU15	12	9	MAU15	20	16
MAU16	33	24	MAU16	35	33
MAU17	27	20	MAU17	49	41
MAU18	29	21	MAU18	59	46
MAU19	39	30	MAU19	20	18
MAU20	45	33	MAU20	109	72
MAU21	15	9	MAU21	20	16
MAU22	18	13	MAU22	10	9
MAU23	43	32	MAU23	23	18
MAU24	28	22	MAU24	20	18
MAU25	21	16	MAU25	26	21
MAU26	16	13	MAU26	8,7	5
MAU27	40	31	MAU27	12	10
MAU28	57	38	MAU28	8,8	5
MAU29	24	18	MAU29	11	10
MAU30	15	12	MAU30	26	23
PIN31	32	22	PIN31	30	20
PIN32	20	18	PIN32	219	134
PIN33	17	15	PIN33	90	55
PIN34	90	49	PIN34	20	11
PIN35	120	82	PIN35	116	92
STM01	279	241	STM01	279	209
STM02	162	162	STM02	155	114
STM03	338	188	STM04	157	99
STM04	118	116	STM05	188	117
STM05	196	195	STM06	69	55
STM06	60	33	STM07	101	83
STM07	233	186	STM10	48	35
STM08	331	185	STM12	68	53
STM09	115	66	STM13	13	7
STM10	51	33	STM14	43	33
STM11	129	68	STM15	21	18
STM12	75	38	STM17	206	126
STM13	99	52	STM19	43	35
STM14	43	32	STM20	91	68

Tabela 3.17 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S/cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Alter do Chão nas duas campanhas de amostragem (Continuação).

Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
Poço	CE ($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)	Poço	CE ($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)
STM15	22	18	STM21	83	50
STM16	18	11	STM22	195	124
STM17	260	123	STM23	197	125
STM18	124	85	STM24	70	62
STM19	25	19	STM25	141	102
STM20	145	77	STM26	310	206
STM21	73	61	STM27	201	122
STM22	195	126	STM28	202	135
STM23	89	52	STM30	91	65
STM24	86	68	STM31	223	155
STM25	240	162	STM35	20	16
STM26	290	167	STM36	19	14
STM27	155	128	STM37	83	49
STM28	33	20	STM38	99	59
STM29	184	106	STM39	321	228
STM30	74	45	STM40	158	110

Na correlação linear estabelecida com os dados da **tabela 3.17** os coeficientes angulares encontrados são iguais a 0,66 nas duas campanhas de amostragem, como pode ser observado na **figura 3.7**. Isso demonstra que nas águas do aquífero Alter do Chão, existe uma forte correlação linear entre STD e CE, conforme revelam os valores dos coeficientes de determinação da regressão (R^2), respectivamente iguais a 0,9 no período chuvoso e 0,98 no período de estiagem.

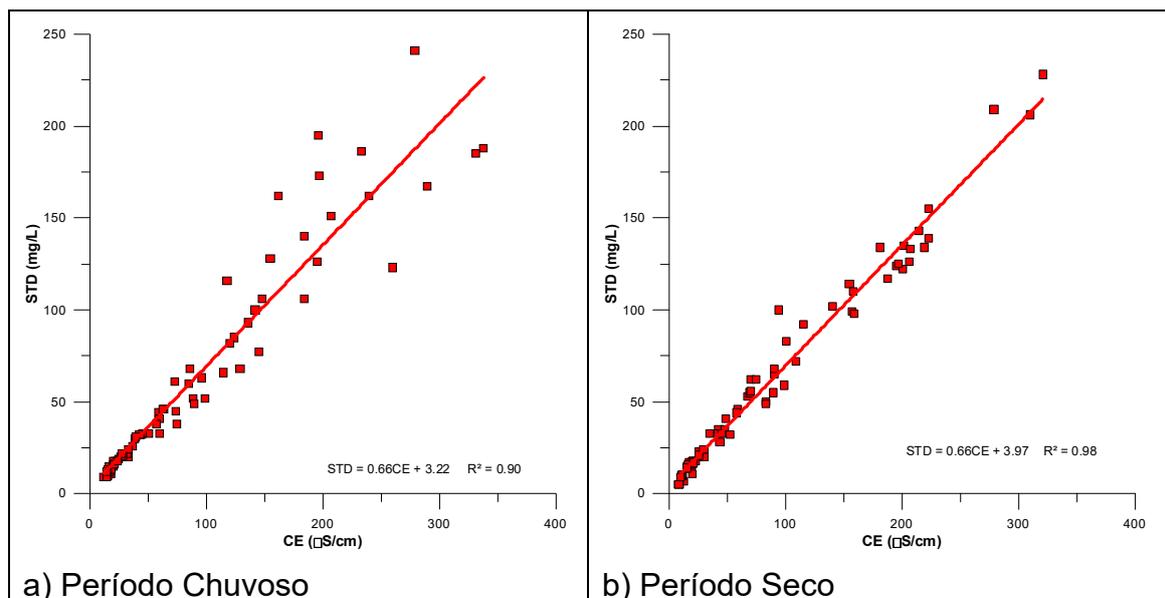


Figura 3.7 – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Alter do Chão, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

Os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão, segundo a estatística descritiva mostrada na **tabela 3.18**, variam no período chuvoso de 9 a 241 mg/L, com média de 65,43 mg/L e mediana de 42,5 mg/L. No período de estiagem, o mínimo observado foi 5 mg/L e o máximo 228 mg/L, com média de 63,83 mg/L e mediana de 47,5 mg/L.

Tabela 3.18 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
STD-1	70	65,43	51,49	79,37	42,50	9,0	241,0	58,46	6,99	1,17
STD-2	70	63,83	50,81	76,85	47,50	5,0	228,0	54,62	6,53	1,07

Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.5**), que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade. Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados de STD abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 1.000.000 µg.L⁻¹, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, em relação a esse parâmetro (**item 2.5**).

De modo geral, os valores de STD obtidos nas águas do aquífero Alter do Chão são baixos, o que pode ser justificado pela constante renovação das águas associada à elevada precipitação pluviométrica e grande número de dias de chuvas, característicos da Região Amazônica. Aliado a isso, a influência do intemperismo químico regional, conforme descrito no **item 1.12**.

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência dos sólidos totais dissolvidos na primeira e na segunda campanha de amostragem de água no aquífero Alter do Chão (**figura**

3.8) permitiram avaliar, com risco calculado, que no período chuvoso a concentração de STD é maior do que no período de estiagem (**tabela 3.19**) indicando uma influência da sazonalidade, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um).

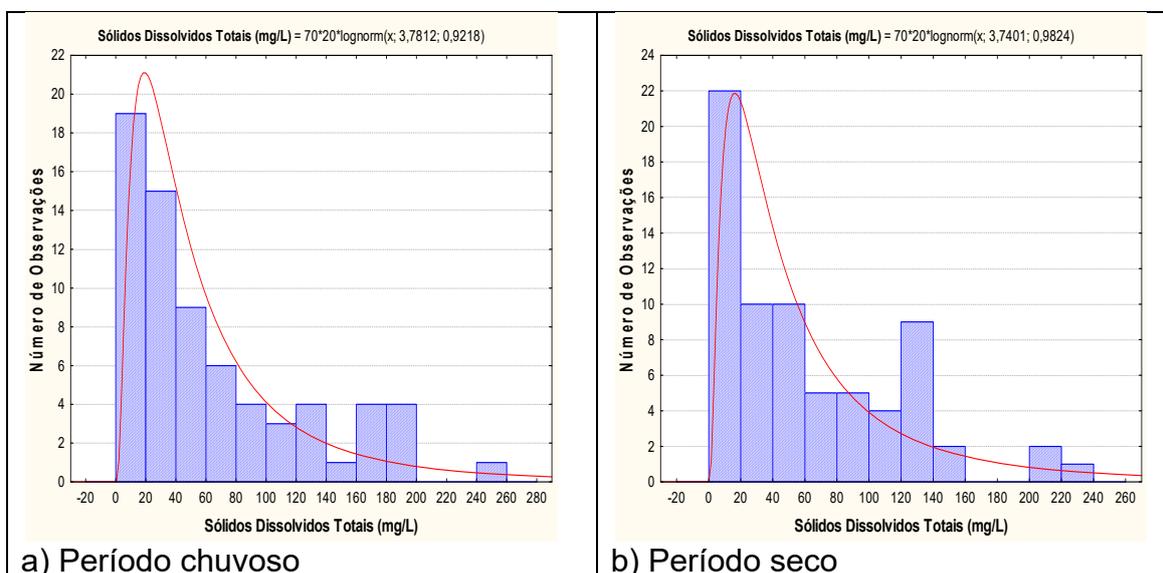


Figura 3.8 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Desse modo, fica evidente que os teores mais altos de STD encontrados nas águas do aquífero Alter do Chão, principalmente no período chuvoso, se devem a possíveis fontes de contaminação do lençol freático, sobretudo no que se refere à ausência de esgotamento sanitário, haja vista que as localidades estudadas estão inseridas em áreas urbanizadas frequentemente atingidas por inundações que favorecem o transbordamentos de fossas sépticas, as quais em sua maioria são localizadas muito próximas aos poços. Tal premissa pode ser ratificada pela correlação significativa entre as variáveis CE, STD e NO₃, como pode ser observado no **item 3.6**.

Tabela 3.19 – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
STD-1	43,87	20,19	13,46	9,63	6,61	5,14
STD-2	42,1	18,42	11,95	8,37	5,6	4,28
Razão	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2

3.7.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade (**item 2.6**). No caso específico do aquífero Alter do Chão para os 70 poços cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é ácido no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo dentro do próprio poço, tende a atingir a neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

De acordo com a estatística descritiva (**tabela 3.20**), os valores de pH *in situ* das águas do aquífero Alter do Chão, ficaram compreendidos entre 3,12 e 8,2 com média de 5,16 e mediana de 5,0 no período chuvoso. No período seco, os valores oscilaram entre um mínimo de 3,9 e um máximo de 6,0 apresentando média de 4,96 e mediana de 4,95.

Tabela 3.20 – Estatística descritiva do *pH in situ* do aquífero Alter do Chão no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
pH-1	70	5,16	4,86	5,45	5,00	3,12	8,2	1,24	0,15	0,47
pH-2	70	4,96	4,84	5,08	4,95	3,9	6,0	0,50	0,06	0,19

Os histogramas de frequência do *pH in situ*, ilustrados na **figura 3.9** nos dois períodos de amostragem, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para *pH in situ* com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.21**).

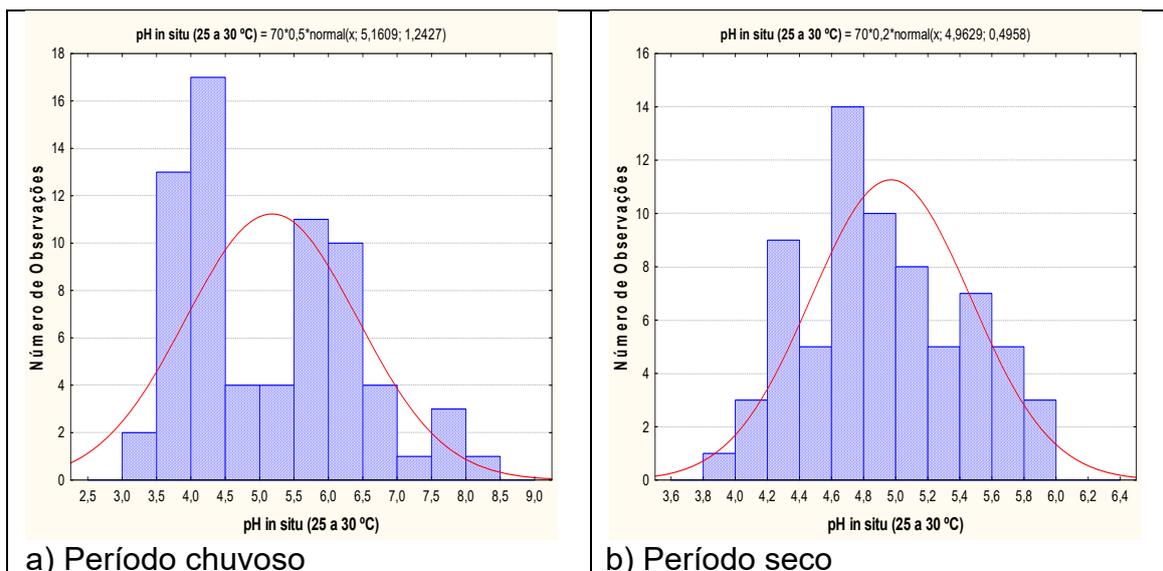


Figura 3.9 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que o valor do pH *in situ* é mais ácido no período de estiagem, o que sugere influência de sazonalidade.

De acordo com Teixeira *et al.* (2000), isso ocorre porque a água da chuva é rica em O₂, que interage com o CO₂ da atmosfera e adquire caráter ácido, e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica enriquecem o ambiente em CO₂, diminuem ainda mais o seu pH. Por isso, as águas subterrâneas são mais ácidas no período seco.

Essa tendência de aumento da acidez no período de estiagem pode ser resultado da presença do gás carbônico, um componente habitual da acidez das águas naturais, que apesar de não chegar a provocar profundas condições de acidez nas águas, é um elemento importante por estar sempre presente, mediante sua dissolução na água proveniente da atmosfera, por diferença de pressão parcial (Lei de Henry) ou por resultar, em caso de águas poluídas, da decomposição aeróbia ou anaeróbia da matéria orgânica. Isto ocorre também no hipolímnio de lagos estratificados e em águas subterrâneas, especialmente aquelas com níveis reduzidos de carbonatos (Piveli, 2004).

Tabela 3.21 – Distribuição de probabilidade do pH do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
pH-1	5,16	4,12	3,57	3,12	2,61	2,27
pH-2	4,96	4,55	4,33	4,15	3,94	3,81
Razão	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6

3.7.7 – Potencial Redox (Eh)

No aquífero Alter do Chão, os diagramas pH-Eh elaborados usando os conceitos descritos no **item 2.7** revelam os ajustes lineares (**figura 3.10**) feitos a partir dos dados medidos em campo, que foram os seguintes:

No período chuvoso: $\text{pH} = -0,029\text{Eh} + 0,303$ $R^2 = 0,39$

No do período seco: $\text{pH} = 0,032\text{Eh} + 0,152$ $R^2 = 0,023$

Ambos os coeficientes de determinação dos ajustes do período chuvoso e do período de estiagem são insignificantes e mostram que não existe correlação significativa entre as medidas de pH e Eh efetuadas em campo no aquífero Alter do Chão. Isto significa, para fins de modelagem termodinâmica, que a distribuição das espécies químicas não pode ser deduzida da concentração total de elementos via potencial redox medido.

O potencial redox é, por definição, a energia ganha na transferência de 1 mol de elétrons de um oxidante para H_2 . O h em Eh indica que o potencial é na escala do hidrogênio e o E simboliza a força eletromotriz (Freeze & Cherry, 1979).

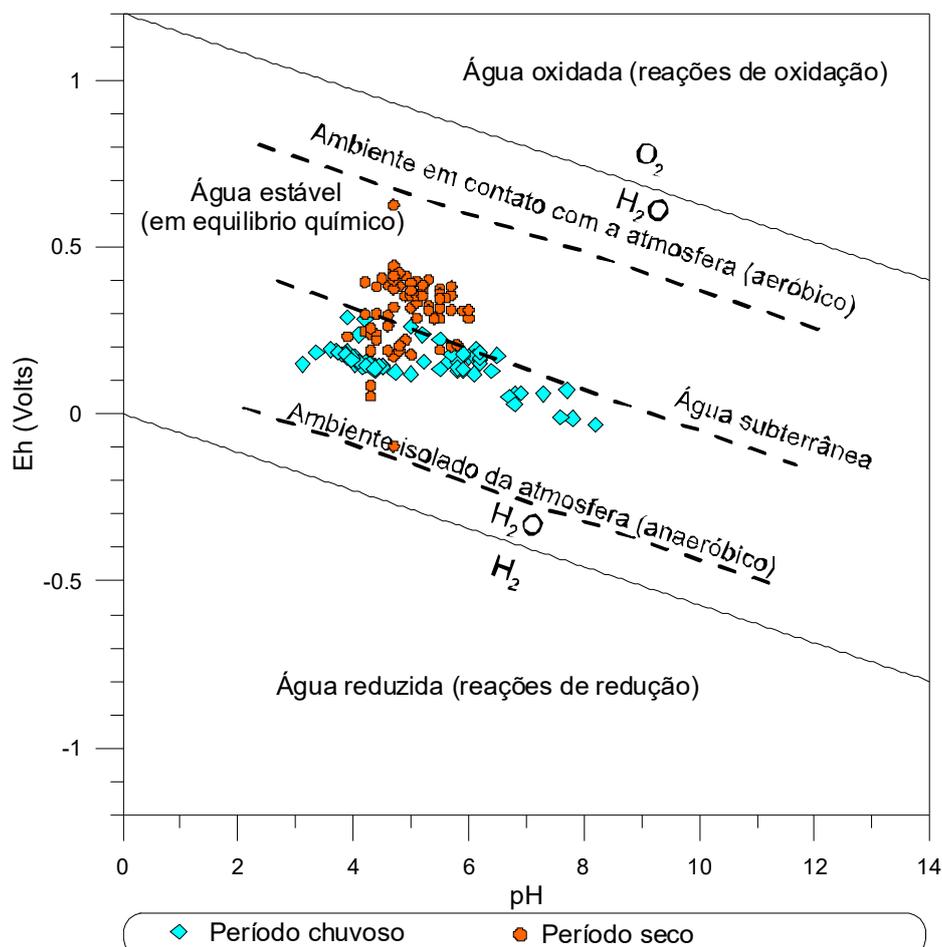


Figura 3.10 – Diagrama pH versus Eh (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Alter do Chão (temperatura in situ variou de 26 a 33,5°C) nas duas campanhas de amostragem.

A estatística descritiva do Eh no aquífero Alter do Chão, apresentada na **tabela 3.22**, mostra que no período chuvoso os valores de Eh oscilaram entre -32,0 e 290,5 mV, com uma média de 150,92 mV e mediana de 155,8 mV. No período de estiagem os valores variaram de -97 a 626 mV, com média de 310,76 mV e mediana igual a 321 mV.

Tabela 3.22 – Estatística descritiva do Eh (mV) do aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012.

Eh (mV)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Eh-1	70	150,92	136,87	164,97	155,80	-32,0	290,5	58,94	7,04	-0,84
Eh-2	70	310,76	285,99	335,53	321,00	-97,0	626,0	103,89	12,42	-0,90

No período chuvoso e de estiagem, respectivamente 96% (67/70) e 99% (69/70) das amostras apresentaram resultados de Eh positivo, indicando que as águas do aquífero Alter do Chão se encontram em condições oxidantes.

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução, em razão da contínua adição de doadores de elétrons, isto é, compostos orgânicos oxidáveis, o que acarreta, no caso do aquífero Alter do Chão, as diferenças de valores de Eh nas duas campanhas.

Os histogramas de frequência e as respectivas curvas ajustadas à lei normal de distribuição de probabilidade para o período chuvoso (abril de 2012) e para o período seco (outubro de 2012) são apresentados na **figura 3.11**.

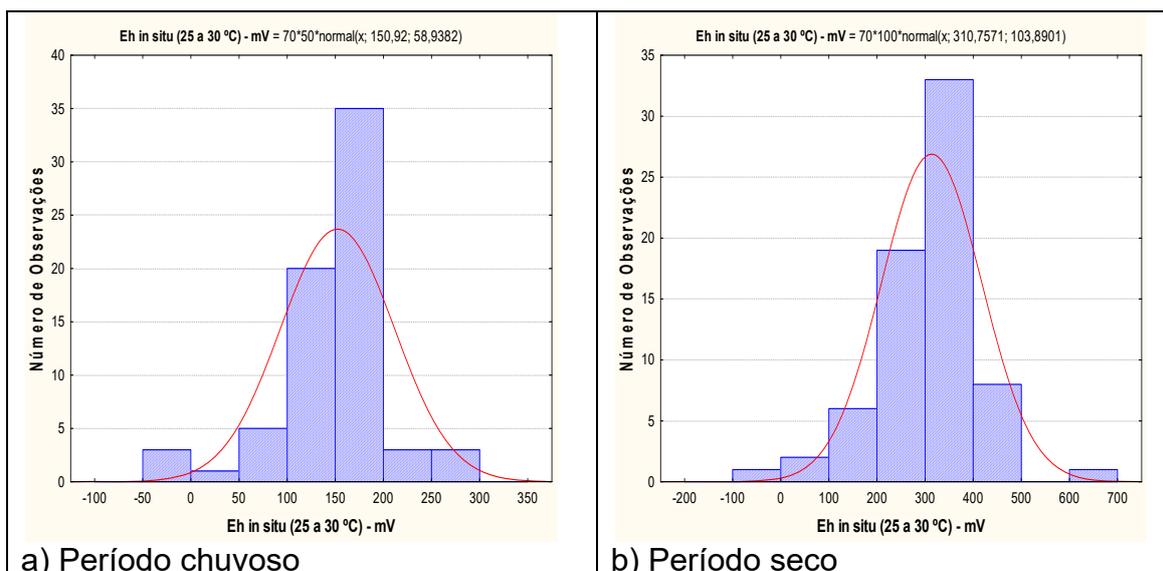


Figura 3.11 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh (mV) do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 3.23** são indicados com risco calculado os valores estimados do Eh no aquífero Alter do Chão para o período chuvoso e para o período seco. Os resultados mostram que no período seco os valores de Eh são altos e positivos quando comparados aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão obtida entre as duas campanhas é inferior a 1 (um).

Tabela 3.23 – Distribuição de probabilidade do Eh (mV) do aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Eh -1	150,92	101,32	75,39	53,98	29,88	13,81
Eh -2	310,76	223,32	177,62	139,87	97,39	69,07
Razão	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2

Os resultados de Eh obtidos no aquífero Alter do Chão são coerentes, pois de acordo com Costa & Ávila (2010), na zona não saturada há, geralmente, oxigênio suficiente na fase gasosa para garantir elevados valores de potencial redox (500 a 800 mV) na água. Apesar disso, condições redutoras ou parcialmente redutoras podem ocorrer em pequenos poros (micro-meios). Nos aquíferos perto da superfície as condições de oxidação prevalecem, assim, potenciais redox baixos nestes aquíferos podem indicar contaminação antropogênica.

No caso do aquífero Alter do Chão, os valores de Eh mais elevados na estiagem são consistentes com a ideia acima apresentada, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que conseqüentemente eleva o valor de Eh.

3.7.8 – Cátions

3.7.8.1 – Sódio

A estatística descritiva (**tabela 3.24**) indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Alter do Chão variam entre 0,13 e 30,69 mg/L no período chuvoso, com média de 6,84 mg/L e mediana de 3,40 mg/L; no período de estiagem os teores ficam compreendidos entre 0,24 e 23,66 mg/L, com média de 6,08 mg/L e mediana de 2,45 mg/L. De acordo com a Portaria MS 2914/2011, todos os valores de sódio encontrados nas duas campanhas estão abaixo do VMP de 200 mg/L, padrão definido como de potabilidade para os seres humanos (**item 2.8.1**).

Tabela 3.24 – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

Na	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Na-1	70	6,84	4,95	8,73	3,40	0,13	30,69	7,94	0,95	1,18
Na-2	70	6,08	4,51	7,66	2,45	0,24	23,66	6,62	0,79	0,99

Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 200 e 300 mg/L (**item 2.8.1**), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação, respectivamente.

Os baixos teores de sódio encontrados em ambas as campanhas de amostragem no aquífero Alter do Chão estão ligados ao intemperismo químico da região, conforme descrito no **item 1.12**, bem como à constante renovação das águas subterrâneas devido à elevada precipitação da Região Amazônica.

Os histogramas de frequência do sódio, ilustrados na **figura 3.12** nos dois períodos de amostragem, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela com diferentes riscos por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.25**) que os teores de sódio são maiores no período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre as duas campanhas é inferior a 1 (um).

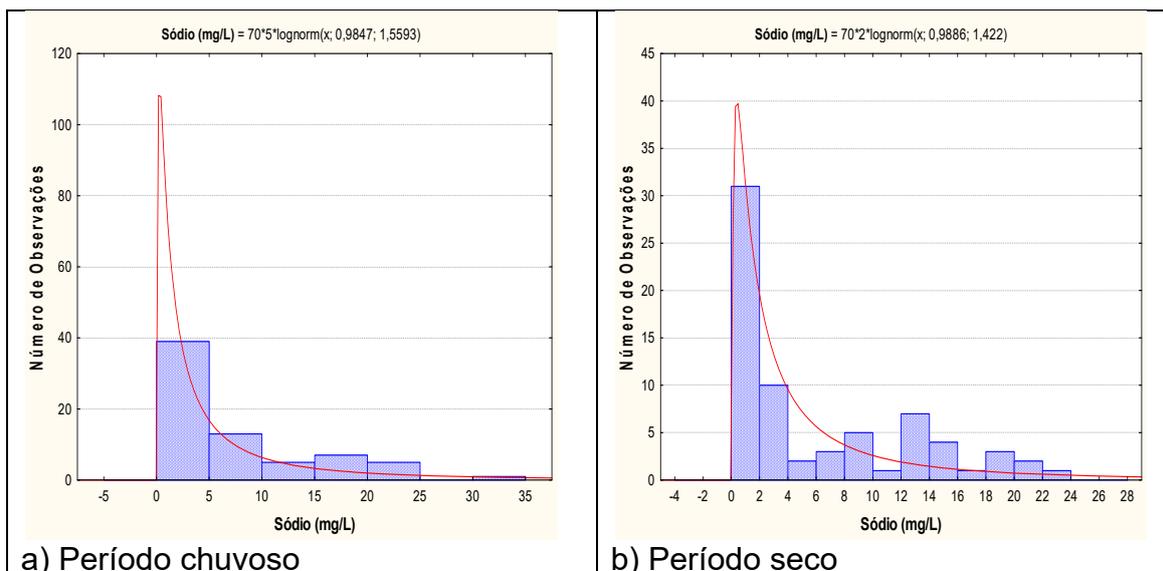


Figura 3.12 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com Santos *et al.* (1981), na Amazônia Central, parte dos nutrientes são transportados até o solo pela queda de detritos (folhas, galhos, etc.) da serrapilheira, onde após a sua decomposição eles são incorporados ao sistema radicular da vegetação; enquanto que outra fração de nutrientes bastante significativa é transferida para o solo, através da água de lavagem da floresta, a qual se torna mais importante, devido o potencial de precipitação pluviométrica na região, visto que o solo local é arenoso e pobre em bases trocáveis.

Tal premissa pode ser ratificada com base nos resultados obtidos no **item 3.3**, onde a maioria das amostras (87%) apresentou resultados de ITB negativos, fato que acontece quando o terreno fornece os metais alcalinos. De acordo com Szikszay (1993), isso é possível, pois as argilas e o húmus dão colóides eletronegativos que são capazes de fixar e trocar cátions.

Segundo Moraes (1999), o solo da floresta amazônica é em geral bastante arenoso e possui uma fina camada de nutrientes que é rica em húmus, o produto resultante da matéria orgânica decomposta.

Madari *et al.* (2009) relatam que os teores de matéria orgânica é que regulam a capacidade de troca de cátions (CTC), principalmente em solos tropicais, cuja fase mineral é dominada por minerais de baixa atividade química quando comparadas à fase mineral dos solos encontrados em regiões de clima temperado. Em solos brasileiros, a matéria orgânica pode contribuir para até 80% das cargas negativas do solo, e isso explica o fato de a CTC desses solos estar, em grande parte, associada à matéria orgânica do solo.

Sendo assim, verifica-se que os teores mais elevados de sódio no período de estiagem no aquífero Alter do Chão, provavelmente, se devem aos nutrientes transportados até o solo pela decomposição da matéria orgânica.

Tabela 3.25 – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Na-1	2,68	0,72	0,36	0,21	0,11	0,07
Na-2	2,69	0,81	0,43	0,26	0,14	0,1
Razão	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7

3.7.8.2 – Potássio

De acordo com a estatística descritiva dos teores de potássio no aquífero Alter do Chão (**tabela 3.26**), no período chuvoso os valores oscilaram entre 0,016 e 19,9 mg/L, com média de 4,03 mg/L e mediana de 1,47 mg/L; e no período de estiagem, a variação foi de 0,0009 a 6,87 mg/L, com média de 2,01 mg/L e mediana de 1,59 mg/L.

Tabela 3.26 – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

K	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
K-1	70	4,03	2,81	5,24	1,47	0,016	19,9	5,11	0,61	1,44
K-2	70	2,01	1,60	2,42	1,59	0,0009	6,87	1,72	0,21	0,85

Na segunda campanha, 1% (1/70) das amostras apresentou teor de potássio abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Os baixos teores de potássio podem ser justificados pela alta pluviosidade na região amazônica, a qual favorece a constante renovação das águas, e consequentemente, a diluição dos elementos ali presentes (**item 1.12**).

Segundo Pereira *et al.* (2008), o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais. Na área de estudo, os valores mínimo e máximo de potássio encontrados em ambas as campanhas foi de 0,016 e 19,9 mg/L, respectivamente.

Os histogramas de frequência do potássio ilustrados na **figura 3.13** nos dois períodos de amostragem foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal.

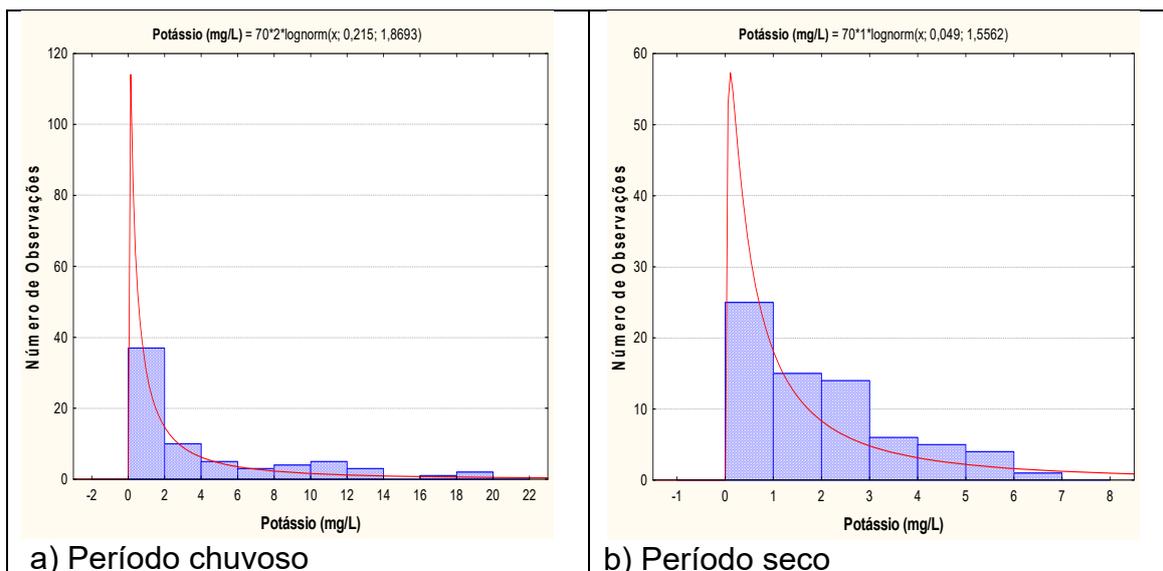


Figura 3.13 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para potássio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.27**).

Sendo assim, com base nos dados de valores máximos que representam cerca de 26% (18/70) dos poços, observa-se que os teores de potássio no período chuvoso são superiores aos do período seco, contudo acredita-se que tal comportamento não se deva exclusivamente a sazonalidade, pois existem vários fatores que influenciam nesse comportamento, principalmente se levar em consideração que a área de estudo encontra-se inserida em zona urbana, propícia a influências antrópicas e contaminações de ordem local.

Tabela 3.27 – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
K-1	1,24	0,26	0,11	0,06	0,03	0,02
K-2	1,05	0,28	0,14	0,08	0,04	0,03
Razão	1,2	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7

3.7.8.3 – Cálcio

De acordo com a estatística descritiva apresentada na **tabela 3.28**, os teores de cálcio medidos no aquífero Alter do Chão variaram no período chuvoso entre 0,009 e 9,24 mg/L, com média de 1,525 mg/L e mediana de 0,474 mg/L; e no período de estiagem oscilaram entre 0,0009 a 8,88 mg/L, com média igual a 1,610 mg/L e mediana igual a 0,74 mg/L.

Tabela 3.28 – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Ca-1	70	1,525	0,950	2,100	0,474	0,009	9,24	2,413	0,288	1,986
Ca-2	70	1,610	1,110	2,110	0,740	0,0009	8,88	2,090	0,250	1,741

Na primeira campanha de amostragem, 1% (1/70) das amostras apresentou teor de magnésio abaixo do limite de detecção de 0,01 mg/L; enquanto que na segunda campanha, 3% (2/70) das amostras apresentaram valores de magnésio abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

De modo geral, os teores de cálcio no aquífero Alter do Chão são baixos, o que é justificável pelos altos índices pluviométricos da região Amazônica, que propicia a constante renovação das águas superficiais e subterrâneas. Aliado a isso, a abundância de água associada com a exuberante cobertura vegetal e as altas temperaturas, são os principais condicionantes do intemperismo químico que ao longo do tempo geológico quebrou a estrutura química dos minerais componentes das rochas e dos sedimentos, deixando os terrenos lixiviados e lateritizados (**item 1.12**).

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência do cálcio na primeira e na segunda campanha de amostragem de água no aquífero Alter do Chão podem ser observados na **figura 3.14**.

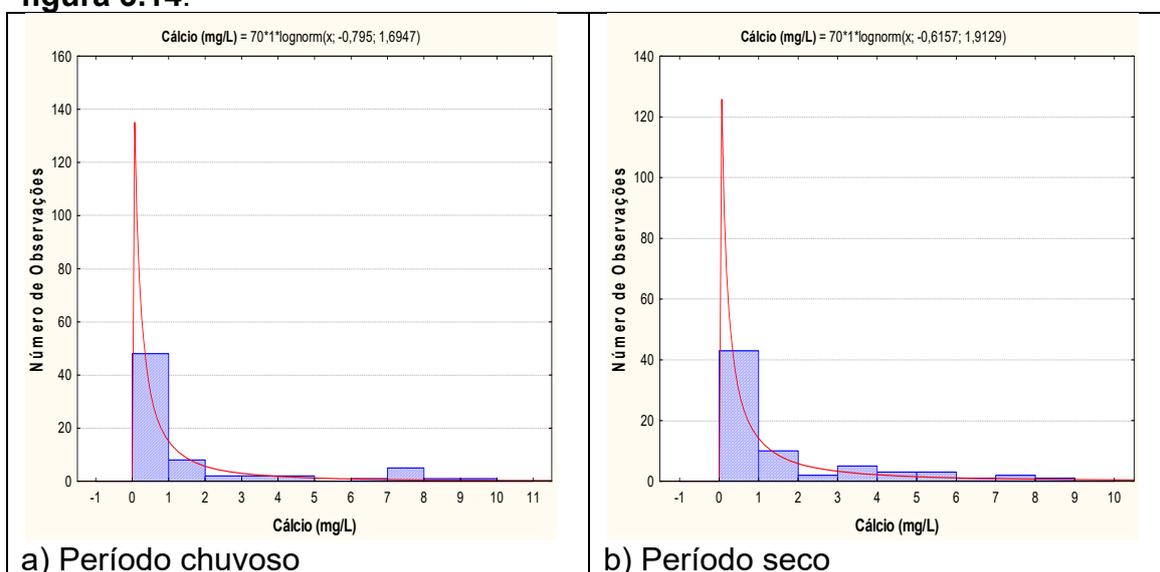


Figura 3.14 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp revela um viés estatístico para cálcio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.29**). Sendo assim, com base

nos dados de média e mediana observa-se que os teores de cálcio no período de estiagem são mais elevados quando comparados aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Tabela 3.29 – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Ca-1	0,452	0,108	0,051	0,028	0,014	0,009
Ca-2	0,54	0,108	0,047	0,023	0,011	0,006
Razão	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5

Os resultados obtidos no aquífero Alter do Chão são coerentes, pois Santos *et al.* (1981) ao efetuarem comparação de teores de cálcio encontrados na água dos troncos e na água do lençol freático verificou que o cálcio circula em um sistema fechado nos ecossistemas florestais da Amazônia Central, assim como, no período seco, os valores desse elemento são mais elevados devido, principalmente as folhas mais velhas das plantas, que são compostas por oxalato de cálcio, fosfato de cálcio e sais orgânicos.

3.7.8.4 – Magnésio

A estatística descritiva na **tabela 3.30** mostra que os teores amostrados de magnésio nas águas do aquífero Alter do Chão no período chuvoso (abril de 2012) variam de 0,019 a 2,3 mg/L, com média de 0,46 mg/L e mediana de 0,31 mg/L. No período seco (outubro de 2012), os valores de magnésio oscilaram entre 0,014 e 1,75 mg/L, com média de 0,48 mg/L e mediana de 0,31 mg/L.

Tabela 3.30 – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

Mg	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mg-1	70	0,46	0,34	0,57	0,31	0,019	2,30	0,48	0,06	1,72
Mg-2	70	0,48	0,37	0,59	0,31	0,014	1,75	0,46	0,06	1,07

Com base nos resultados obtidos nas duas campanhas de amostragem, verificou-se que os teores de magnésio no aquífero Alter do Chão são baixos, e que isso provavelmente se deve ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica associado ao intemperismo químico (**item 1.12**) da região, que ao longo do tempo geológico quebrou a estrutura química dos minerais componentes das rochas e dos sedimentos, deixando os terrenos lixiviados e lateritizados.

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência do magnésio na primeira e na segunda campanha de amostragem de água no aquífero Alter do Chão podem ser visualizadas na **figura 3.15**.

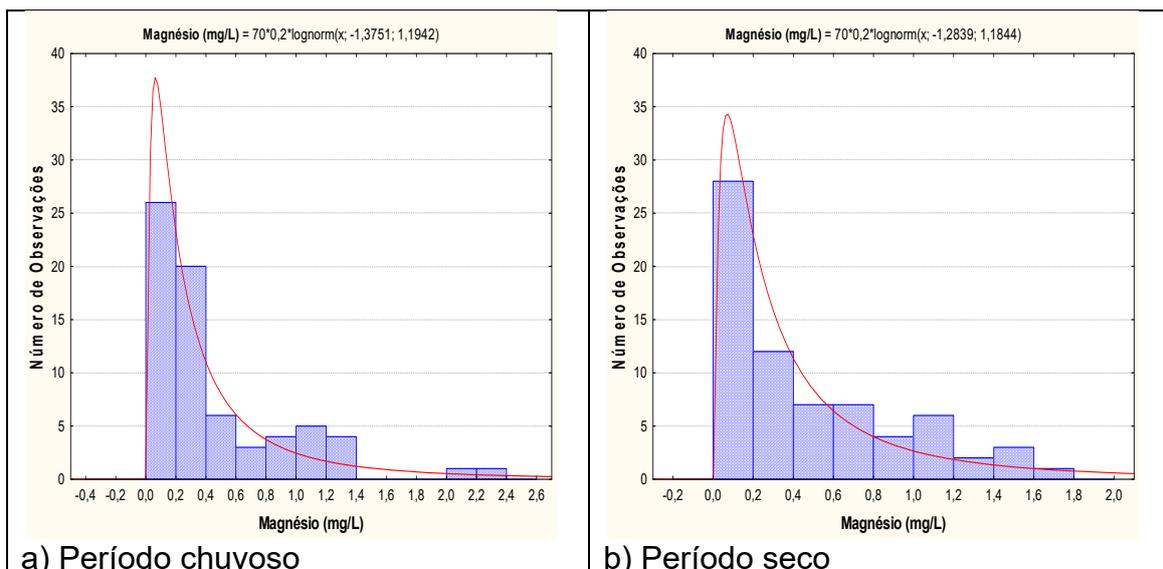


Figura 3.15 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Esse modelo de fdp permitiu avaliar, com risco calculado, que os teores de magnésio nas duas coletas são muito próximos, indicando que não há influência da sazonalidade (**tabela 3.31**), haja vista que o valor da razão obtida é da ordem de 1 (um) ou igual a 1 (um).

Tabela 3.31 – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mg-1	0,25	0,09	0,05	0,04	0,02	0,02
Mg-2	0,28	0,1	0,06	0,04	0,02	0,02
Razão	0,9	0,9	0,8	1,0	1,0	1,0

3.7.9 – Ânions

3.7.9.1 – Cloreto

A **tabela 3.32** mostra a estatística descritiva dos teores de cloreto, amostrados no ano de 2012 nas águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão. No período chuvoso (abril de 2012), os valores de cloreto variaram de 0,99 a 28,91 mg/L, com média de 7,54 mg/L e mediana de 4,14 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 0,49 a 24,81 mg/L, com média de 7,06 mg/L e mediana de 3,93 mg/L.

Tabela 3.32 – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) – outubro de 2012.

CI	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CI-1	70	7,54	5,59	9,49	4,14	0,99	28,91	8,17	0,98	1,13
CI-2	70	7,06	5,36	8,77	3,93	0,49	24,81	7,14	0,85	0,84

Na primeira campanha, 34% (24/70) das amostras apresentaram teores de cloreto abaixo do limite de detecção de 1 mg/L, enquanto que 3% (2/70) dos poços apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 2 mg/L.

Na segunda campanha, 14% (10/70) das amostras apresentaram teores de cloreto abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L.

Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Todos os poços amostrados, em ambas as campanhas, apresentaram resultados de cloreto inferiores ao VMP estabelecido pelo Portaria MS 2914/11, assim como, dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas do aquífero Alter do Chão podem ser empregadas para consumo humano, irrigação e recreação (**item 2.9.1**).

Os histogramas de frequência do cloreto, ilustrados na **figura 3.16**, nos dois períodos de amostragem, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela com diferentes riscos, por meio da modelagem geoestatística que os teores de cloreto no período chuvoso são mais elevados quando comparados aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade (**tabela 3.33**), haja vista que a razão obtida entre as duas campanhas é superior a 1 (um).

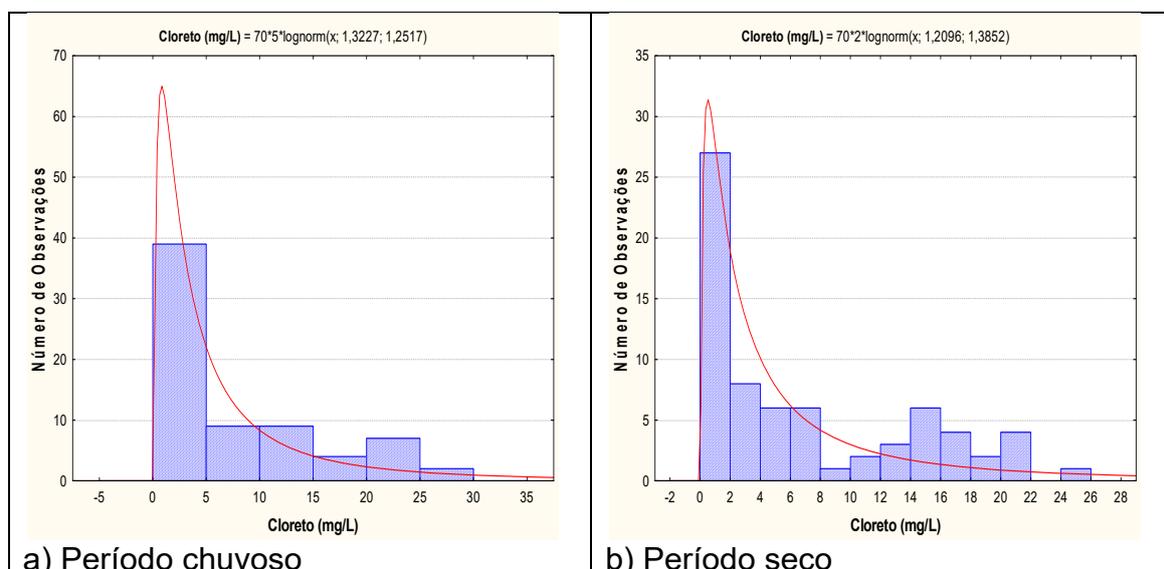


Figura 3.16 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Isto provavelmente ocorre, pois as localidades estudadas são urbanizadas e quase totalmente desprovidas de esgotamento sanitário, de modo que principalmente na época da chuva pode haver infiltração de água contaminada, haja vista que a maioria dos poços no aquífero Alter do Chão é construída nas proximidades imediatas das fossas sépticas, o que pode ser ratificado pela correlação altamente significativa entre as variáveis Cl, NO₃, e STD, conforme demonstra o **item 3.6**.

Os resultados obtidos no aquífero Alter do Chão são justificáveis, pois segundo Pohling (2009), quando o teor de cloreto está mais elevado na água e não há influência de fatores geológicos, essa contaminação pode ser proveniente de efluentes domésticos ou industriais.

Tabela 3.33 – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cl-1	3,75	1,31	0,75	0,48	0,29	0,2
Cl-2	3,35	1,04	0,57	0,34	0,19	0,13
Razão	1,1	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5

3.7.9.2 – Sulfato

A estatística descritiva apresentada na **tabela 3.34** indica que os teores de sulfato nas águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão, no período chuvoso, variam de 0,49 a 11,15 mg/L, com média de 0,99 mg/L e mediana de 0,49 mg/L. No período seco, os teores variaram de 0,49 a 8,8 mg/L, com média de 1,01 mg/L e mediana de 0,49 mg/L.

Tabela 3.34 – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

Sulfato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
S-1	70	0,99	0,61	1,36	0,49	0,49	11,15	1,58	0,19	4,86
S-2	70	1,01	0,64	1,37	0,49	0,49	8,8	1,52	0,18	3,92

Na primeira campanha, 69% (48/70) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L, enquanto que 9% (6/70) das amostras apresentaram valores de sulfato abaixo do limite de detecção de 1 mg/L.

Na segunda coleta, 73% (51/70) dos poços revelaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L; ao passo que 1% (1/70) das amostras apresentou valor de sulfato abaixo do limite de detecção de 1 mg/L.

Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Nas duas campanhas de amostragem, todas as amostras analisadas apresentaram teores de sulfato inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 para consumo humano, dessedentação animal e recreação, bem como dentro dos padrões organolépticos de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.9.2**).

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência do sulfato na primeira e na segunda campanha de amostragem de água no aquífero Alter do Chão podem ser visualizados na **figura 3.17**. Esse modelo de fdp permitiu avaliar, com risco calculado, que os teores de sulfato são muito próximos, indicando que não há influência da sazonalidade, pois a razão obtida entre as duas campanhas são iguais ou da ordem de 1 (um), como pode ser observado na **tabela 3.35**.

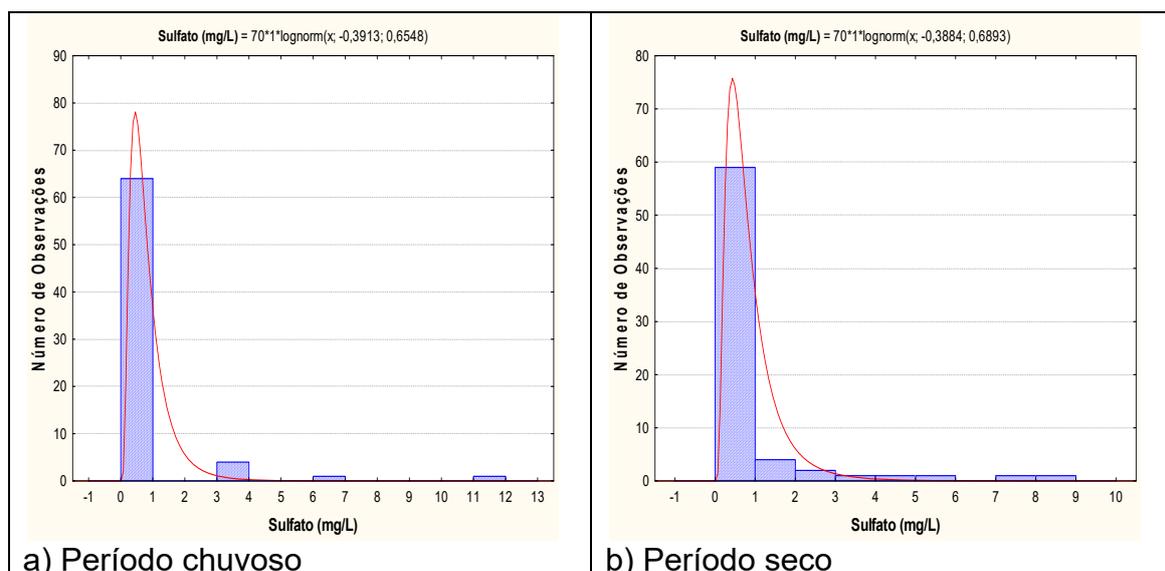


Figura 3.17 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sulfato Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Apesar de nenhuma das amostras ultrapassar os limites recomendados da Portaria MS 2914/2011 e da Resolução CONAMA 396/2008, a presença de sulfato em ambas campanhas nas águas do aquífero Alter do Chão sugere que está ocorrendo contaminação das águas subterrâneas por infiltração do esgoto *in natura*, fato que se deve provavelmente ao contato dos poços com as fossas sanitárias. Fazzio *et al.* (2009) descrevem que o crescente aumento da população urbana tem ocasionado um somatório de contaminantes lançados nas águas subterrâneas, oriundos das mais diversas fontes, relacionadas com o espaço urbano, tais como, fossas sépticas, cemitérios, vazamentos em postos de combustível, lixões, agrotóxicos, poços profundos mal instalados ou abandonados, lançamento de resíduos domésticos e industriais, dentre outros.

Tabela 3.35 – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
S-1	0,68	0,39	0,29	0,23	0,18	0,15
S-2	0,68	0,38	0,28	0,22	0,16	0,14
Razão	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1

3.7.9.3 – Bicarbonato

A estatística descritiva dos teores de bicarbonato nas águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão (**tabela 3.36**) revela que no período chuvoso (abril de 2012) os valores oscilaram entre 0 e 260 mg/L, com média igual a 6,25 mg/L; e no período de estiagem (outubro de 2012), os valores ficaram compreendidos entre 0 e 14 mg/L, com média de 1,41 mg/L. Em ambas as coletas, a mediana foi igual a 0 mg/L.

Tabela 3.36 – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

Bicarbonato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
B-1	70	6,25	1,068	13,57	0,0	0,0	260,0	31,24	3,73	7,99
B-2	70	1,41	0,602	2,23	0,0	0,0	14,0	3,47	0,41	2,30

Na primeira campanha, 71% (50/70) das amostras obtiveram valores iguais a zero, enquanto que na segunda campanha esses valores alcançaram 84% (59/70).

O bicarbonato não possui VMP definido para o consumo humano, conforme descrito no **item 2.9.3**.

Devido ao grande número de amostras com teor de bicarbonato igual à zero na primeira campanha (50/70) e na segunda campanha (59/70), a modelagem geoestatística não foi realizada porque o ajuste dos histogramas lognormal não pode ser feito com a presença de zero (**figura 3.18**). Desse modo, com base nos dados de média e valores máximos, é possível concluir que os teores de bicarbonato são maiores no período chuvoso, refletindo efeito da sazonalidade.

Isso faz sentido, porque no período chuvoso as águas de chuvas são ricas em dióxido de carbono (CO₂) que reagindo com a água do aquífero produz o ácido carbônico, que por sua vez se dissocia em bicarbonato, fazendo com esse íon tenda a ser mais abundante no período chuvoso.

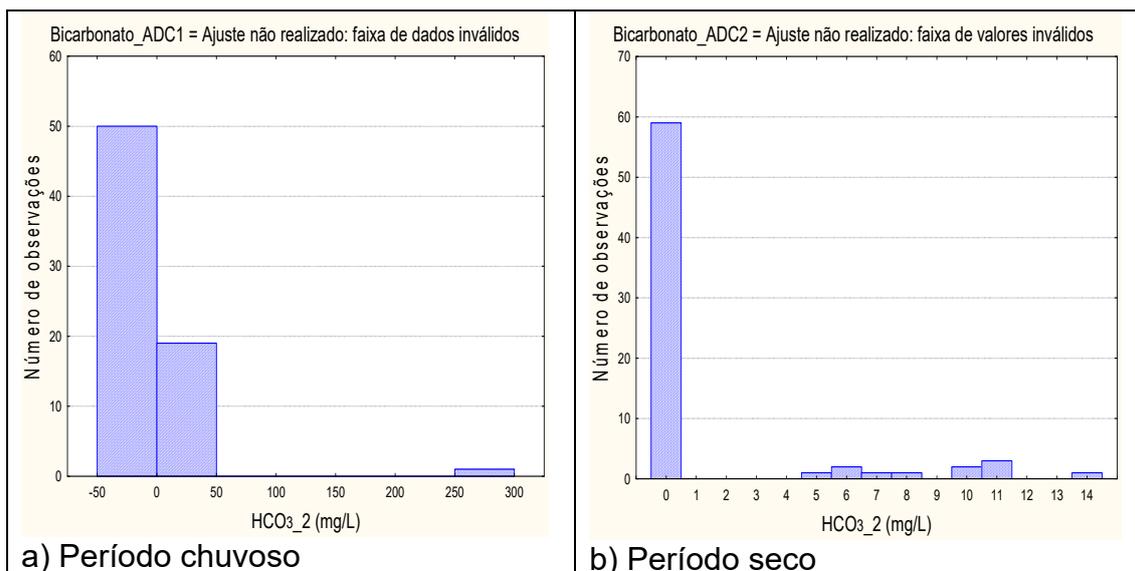


Figura 3.18 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os baixos teores de bicarbonato no aquífero Alter do Chão podem ser justificados pela alta pluviosidade na região amazônica, a qual favorece a constante renovação das águas e, conseqüentemente, a diluição dos elementos ali presentes (**item 1.12**).

Segundo Lopes *et al.* (2013), os valores extremamente baixos de bicarbonato podem estar relacionados com as variações da alcalinidade total, uma vez que uma alteração nas concentrações dos íons carbonato e bicarbonato provoca também alterações nos valores de pH de uma solução, já que esses três íons (H^+ , CO_3^{2-} e HCO_3^-) constituem um verdadeiro sistema em equilíbrio. Assim, a reação entre os dois primeiros, com a formação do terceiro, provoca uma diminuição das concentrações do carbonato e um aumento das concentrações do bicarbonato. O que torna o processo dinâmico e faz com que um elemento seja facilmente convertido em outro por meio de reações que ocorrem no ambiente.

3.7.10 – Dureza

De acordo com a estatística descritiva da dureza das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão (**tabela 3.37**) no período chuvoso, os valores oscilaram entre 0,13 e 32,53 mg/L, com média de 5,68 mg/L e mediana de 2,22 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 0,09 a 27,46 mg/L, com média de 6,0 mg/L e mediana de 3,14 mg/L.

Tabela 3.37 – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) - outubro de 2012.

Dureza	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
D-1	70	5,68	3,83	7,53	2,22	0,13	32,53	7,76	0,93	1,90
D-2	70	6,00	4,37	7,63	3,14	0,09	27,46	6,84	0,82	1,53

Segundo a classificação de Von Sperling (2005) descrita no **item 2.10**, as águas do aquífero Alter do Chão, em ambas as campanhas de amostragem, são 100% (70/70) do tipo mole.

Nas duas campanhas, nenhum dos poços amostrados ultrapassaram o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO₃ (**item 2.10**).

Os histogramas de frequência da dureza (**figura 3.19**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal.

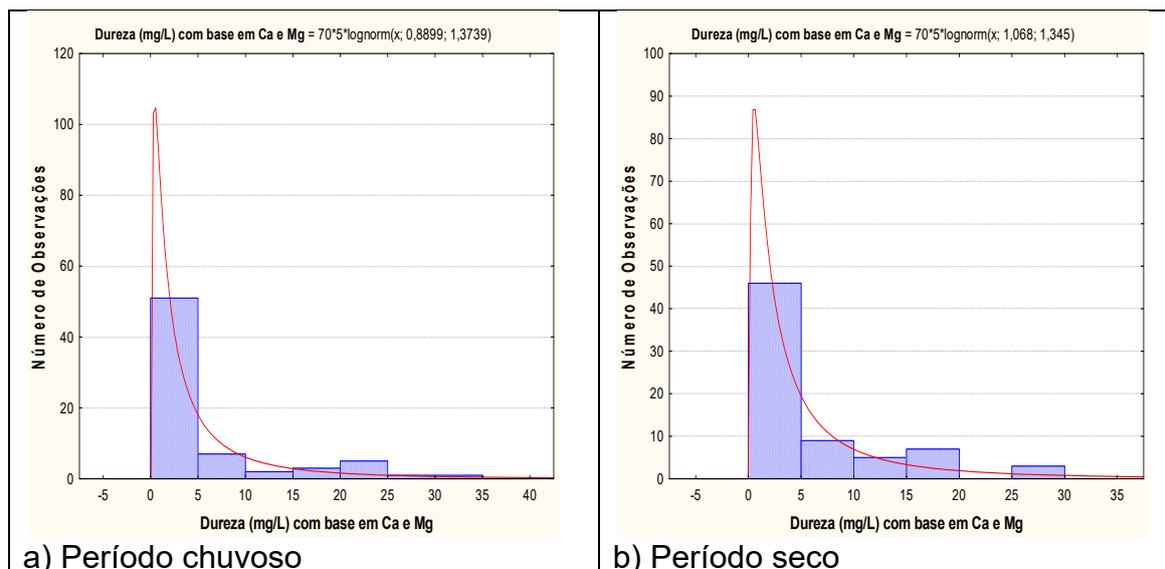


Figura 3.19 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os teores de dureza no aquífero Alter do Chão (**tabela 3.38**), onde se verificou que os valores do período seco são maiores do que os do período chuvoso, o que reflete alguma influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é inferior a 1 (um).

Os resultados obtidos no aquífero Alter do Chão são coerentes, haja vista que a dureza se baseia em teores de cálcio e de magnésio, e como visto anteriormente no **item 3.7.8.4**, os teores de magnésio foram muito baixos quando comparados aos teores de cálcio (**item 3.7.8.3**), então era de se esperar que a dureza apresentasse o mesmo comportamento do cálcio, que foi de teores mais elevados no período seco.

Aliado a isso, Santos *et al.* (1981) destacam que o cálcio circula em um sistema fechado nos ecossistemas florestais da Amazônia Central, e no período seco, os valores desse elemento são mais elevados devido principalmente as folhas mais velhas das plantas, que são compostas por oxalato de cálcio, fosfato de cálcio e sais orgânicos. Nesse sentido, é também de se esperar que a dureza seja mais elevada no período de estiagem, como foi o caso do aquífero Alter do Chão.

Tabela 3.38 – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
D-1	2,43	0,77	0,42	0,25	0,14	0,1
D-2	2,91	0,94	0,52	0,32	0,18	0,13
Razão	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

3.7.11 – Compostos Nitrogenados

3.7.11.1 - Nitrato

A **tabela 3.39** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variam de 0,09 a 19,17 mg/L, com média de 4,28 mg/L e mediana de 2,04 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 15,08 mg/L, com média de 4,14 mg/L e mediana de 2,79 mg/L.

Tabela 3.39 – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	70	4,28	3,04	5,52	2,04	0,09	19,17	5,20	0,62	1,28
N-2	70	4,14	3,16	5,13	2,79	0,09	15,08	4,13	0,49	0,84

Nas duas campanhas de amostragem, 9% (6/70) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L.

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 17% (12/70) dos poços no período chuvoso e 14% (10/70) no período de estiagem apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.11**). Porém, todas as amostras analisadas nas duas campanhas poderiam ser utilizadas para a dessedentação animal, haja vista que não ultrapassaram os limites definidos pela Resolução citada.

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência do nitrato na primeira e na segunda campanha de amostragem de água no aquífero Alter do Chão podem ser observados na **figura 3.20**. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os teores de nitrato no aquífero Alter do Chão (**tabela 3.40**), onde se verificou que os valores do período seco são maiores do que os do período chuvoso, o que reflete alguma influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é inferior a 1 (um). Isso provavelmente se deve ao fato de que no período de estiagem, com a cessação do período de cheias, a constante renovação das águas é minimizada e, conseqüentemente, ocorre a elevação da concentração dos poluentes ali presentes, como é o caso do nitrato.

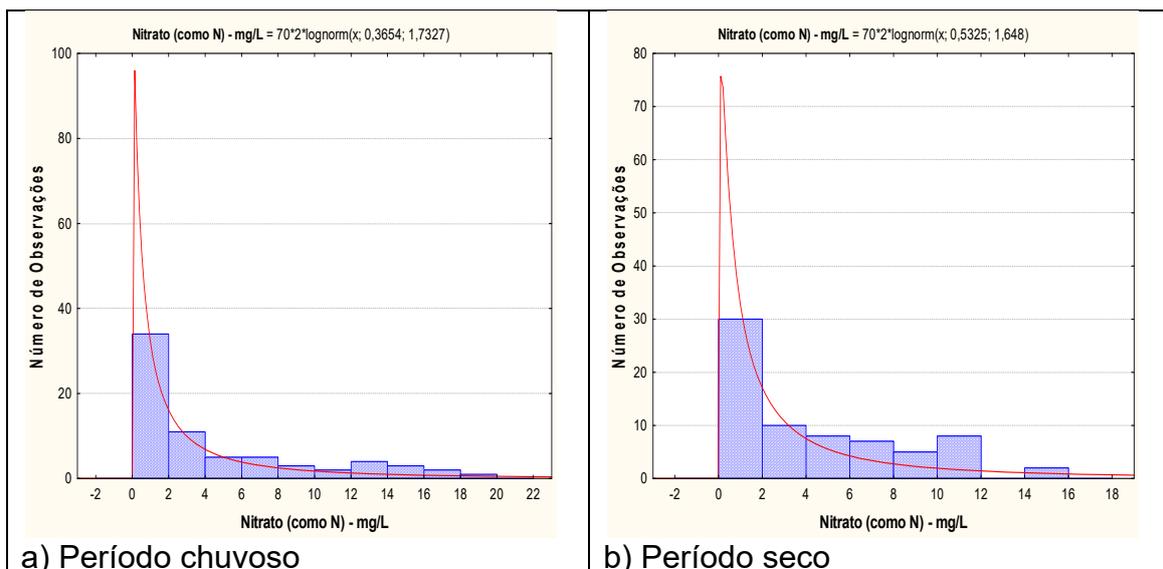


Figura 3.20 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato, que possui grande mobilidade no solo, alcançando o manancial subterrâneo. O nitrato, por possuir essas características, se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

Diante disso, fica evidente que os valores de nitrato encontrados nas águas do aquífero Alter do Chão, inclusive superiores aos limites de potabilidade para consumo humano estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008, principalmente nas cidades de Almeirim e Santarém se devem sobretudo a contaminação oriunda da ausência de saneamento básico.

Tabela 3.40 – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	1,44	0,34	0,16	0,08	0,04	0,03
N-2	1,7	0,43	0,21	0,11	0,06	0,04
Razão	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8

3.7.11.2 - Nitrito

A **tabela 3.41** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrito presentes nas águas do aquífero Alter do Chão nas duas campanhas de amostragem realizadas. Na primeira campanha, 1% (1/70) das amostras apresentou teor de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,01 mg/L e 97% (68/70) das amostras abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L. Na segunda campanha, 99% (69/70) das amostras apresentaram teores de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L.

Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Desse modo, observa-se que a ocorrência de nitrogênio sob a forma de nitrito é desprezível no aquífero Alter do Chão, haja vista que existem apenas 02 valores quantificáveis, sendo um em cada campanha de amostragem, ambos no poço MAU07.

Todas as amostras analisadas nas duas coletas apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, assim como, poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 em relação a esse parâmetro (**item 2.11**).

Tabela 3.41 – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrito	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	70	0,02	0,018	0,021	0,019	0,009	0,075	0,0068	0,0008	8,0037
N-2	70	0,02	0,02	0,03	0,02	0,019	0,289	0,0300	0,0040	8,3666

O histograma de frequência de nitrito no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012) podem ser visualizados na **figura 3.21**.

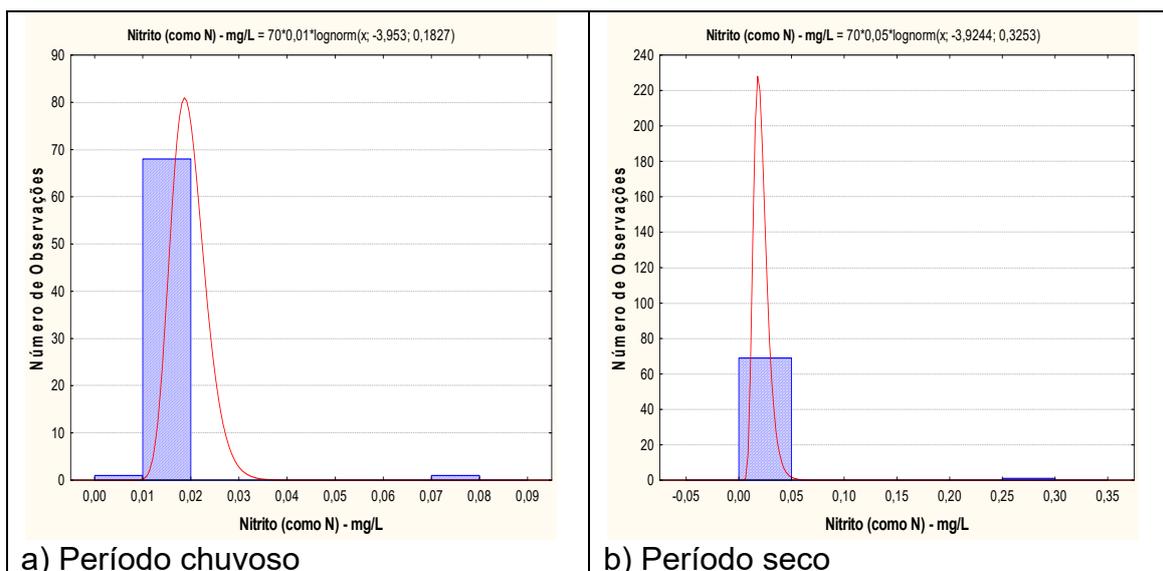


Figura 3.21 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp ajustado ao histograma do período de estiagem revela um viés estatístico para os teores de nitrito com diferentes riscos (**tabela 3.42**). Sendo assim, com base nos dados de média, mediana e valores máximos é possível dizer que os teores de nitrito são maiores no período de estiagem. Contudo, acredita-se que tal resultado não condiz com a realidade, haja vista que quase todas as amostras, ou seja, 99% dos poços nas duas campanhas de amostragem apresentaram valores abaixo do limite de detecção.

Desse modo, admite-se que o parâmetro nitrito das águas subterrâneas no aquífero Alter do Chão não sofre influência da sazonalidade.

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do Aquífero Alter do Chão são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlfs (2010), nas águas subterrâneas os nitratos ocorrem em teores, geralmente, abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

Tabela 3.42 – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,019	0,016	0,015	0,014	0,013	0,013
N-2	0,02	0,015	0,013	0,012	0,01	0,009
Razão	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4

3.7.11.3 - Amônia

A **tabela 3.43** mostra a estatística descritiva dos teores de amônia presentes nas águas do Aquífero Alter do Chão, nas duas campanhas de coleta de água

realizadas. No período chuvoso, as concentrações de amônia variam de 0,09 a 1,3 mg/L, com média de 0,15 mg/L e mediana de 0,09 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 1,9 mg/L, com média de 0,24 mg/L e mediana de 0,09 mg/L.

Tabela 3.43 – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

Amônia	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
A-1	70	0,15	0,09	0,20	0,09	0,09	1,3	0,21	0,03	3,92
A-2	70	0,24	0,14	0,34	0,09	0,09	1,9	0,41	0,05	2,92

Na primeira coleta, 87% (61/70) das amostras apresentaram valores de amônia inferiores ao limite de detecção de 0,1 mg/L; enquanto que na segunda coleta, 77% (54/70) dos poços tiveram resultados de amônia abaixo do limite de detecção.

Dentre o total de amostras analisadas, apenas na segunda campanha 4% (3/70) das amostras apresentaram valores que ultrapassaram o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L (item 2.11).

Os histogramas de frequência de amônia, ilustrados na **figura 3.22** nos dois períodos de amostragem, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para amônia com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.44**). Sendo assim, com base nos dados de média e valores máximos observa-se que os teores de amônia no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Porém, acredita-se que tal premissa não se aplica a área de estudo, haja vista que 87% e 77% das amostras, respectivamente na primeira e segunda campanha apresentaram teores de amônia abaixo do limite de detecção, o que sugere que de modo geral, os teores de amônia no aquífero Alter do Chão são baixos, e que os poucos valores quantificáveis se devem exclusivamente a influência antrópica, pois as coletas foram efetuadas em zonas urbanas, desprovidas de esgotamento sanitário.

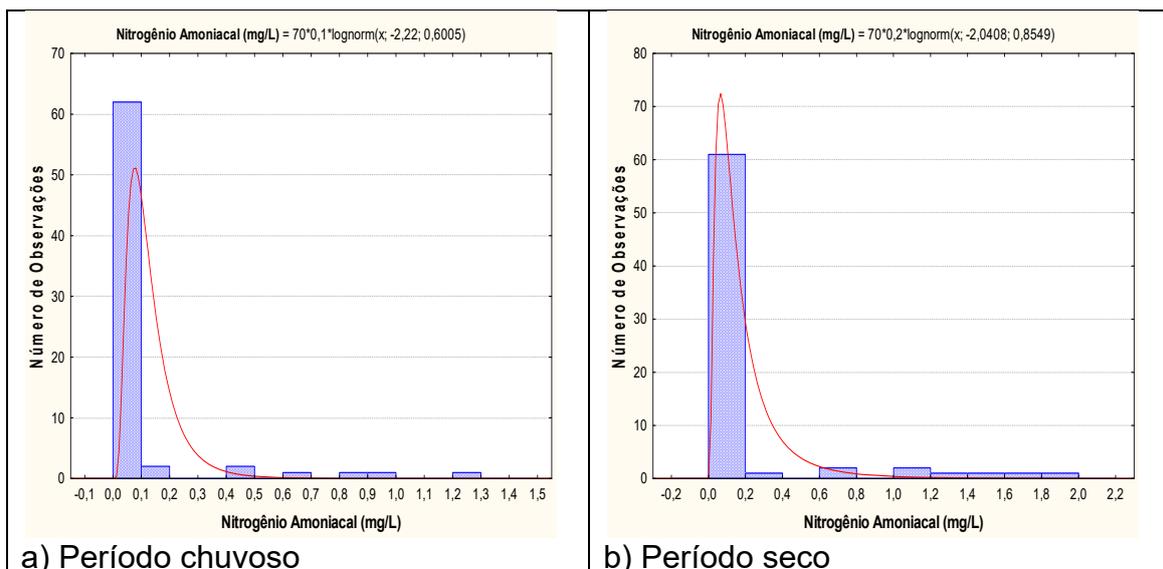


Figura 3.22 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com Alaburda & Nishihara (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido a sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

Por esse motivo, os teores de amônia obtidos nas duas campanhas do aquífero Alter do Chão, foram muito baixos, pois provavelmente a amônia existente proveniente dos dejetos das fossas sépticas está sendo convertida em nitrato, o que justifica alguns teores de nitrato superiores ao padrão de potabilidade permitido pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.11**).

Tabela 3.44 – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
A-1	0,11	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03
A-2	0,13	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Razão	0,8	1,2	1,3	1,3	1,5	1,5

3.7.12 – Ferro e Manganês

3.7.12.1 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro nas águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão (**tabela 3.45**) mostra para o período chuvoso valores compreendidos entre 0,00009 e 3,67 mg/L, com média de 0,16 mg/L e mediana de 0,01 mg/L. No período seco, os teores variaram de 0,0009 mg/L a 7,27 mg/L, com média de 0,18 mg/L e mediana de 0,02 mg/L.

Tabela 3.45 – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

Fe	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Fe-1	70	0,16	0,03	0,30	0,01	0,00009	3,67	0,56	0,07	5,29
Fe-2	70	0,18	-0,03	0,39	0,02	0,0009	7,27	0,88	0,11	7,87

Na primeira coleta, 10% (7/70) das amostras apresentaram teores de ferro abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L; enquanto que na segunda coleta foram 14% (10/70) das amostras.

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 10% (7/70) dos poços no período chuvoso e 4% (3/70) no período de estiagem apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Todas as amostras analisadas nas duas campanhas poderiam ser utilizadas para a irrigação, conforme a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**), com a exceção do poço MAU07 na segunda campanha, que ultrapassou os limites definidos para a irrigação, não podendo suas águas serem utilizadas para esse fim.

Os histogramas de frequência de ferro (**figura 3.23**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os valores de ferro no aquífero Alter do Chão (**tabela 3.46**), onde se verificou que os valores do período seco são maiores do que os do período chuvoso, o que reflete alguma influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é inferior a 1 (um).

Os teores de ferro mais elevados no aquífero Alter do Chão no período de estiagem são consistentes, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que, conseqüentemente, eleva o valor de Eh, produzindo a oxidação do ferro.

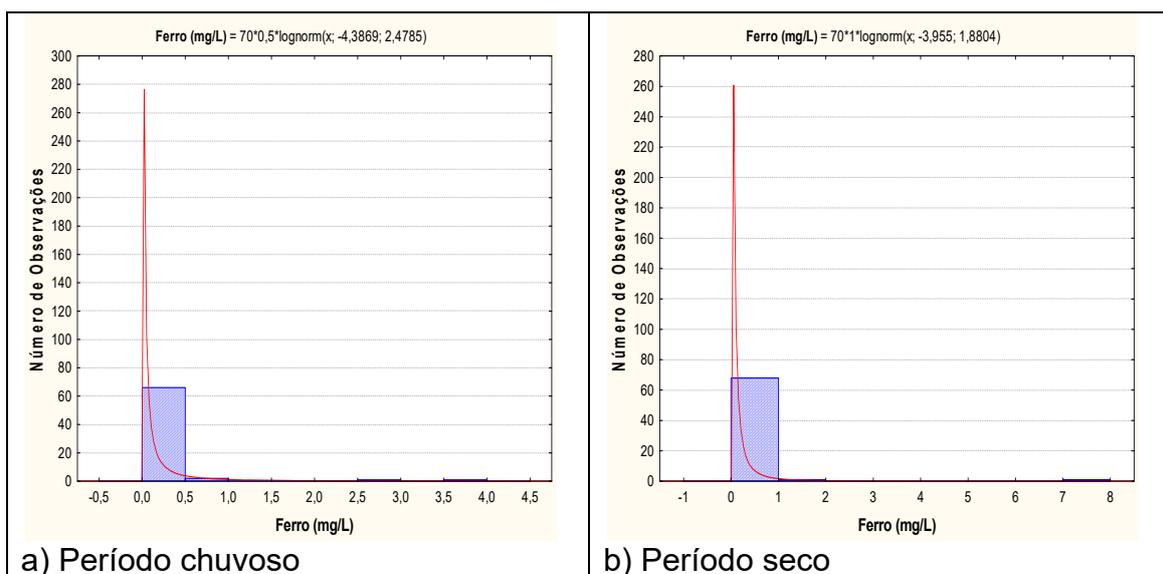


Figura 3.23 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De modo geral, os aquíferos da PHA apresentam altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea, os quais resultam principalmente das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas, conforme descrito no **item 2.12**.

Dentre os aquíferos que compõem a PHA, observa-se que o aquífero Alter do Chão é o que apresenta os menores teores de ferro quando comparados por exemplo ao aquífero Rio Branco, onde os teores de ferro variam de 0,0019 a 10,17 mg/L e 0,0056 a 24,63 mg/L, respectivamente para os períodos chuvoso e seco.

De acordo com Tancredi (1996), o teor de ferro relativamente baixo em relação aos demais aquíferos da PHA reflete a elevada taxa de circulação (renovação) da água subterrânea no sistema hidrológico da Formação Alter do Chão.

Tabela 3.46 – Distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Fe-1	0,0124	0,0015	0,0005	0,0002	0,0001	0,000039
Fe-2	0,0192	0,0039	0,0017	0,0009	0,0004	0,0002
Razão	0,6	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2

3.7.12.2 – Manganês

A estatística descritiva das concentrações de manganês nas águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão (**tabela 3.47**) revela que os teores de manganês no período chuvoso variam de 0,00009 a 0,048 mg/L, com média de 0,008 mg/L e mediana de 0,004 mg/L. No período seco, o valor mínimo foi de 0,0009 mg/L e o máximo de 0,086 mg/L, com média e mediana iguais a 0,01 mg/L.

Tabela 3.47 – Estatística descritiva do Manganês do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

Mn	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mn-1	70	0,008	0,006	0,011	0,004	0,00009	0,048	0,012	0,001	1,989
Mn-2	70	0,010	0,010	0,010	0,010	0,0009	0,086	0,020	0,002	3,457

Na primeira campanha, 21% (15/70) das amostras apresentaram teores de manganês abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L; enquanto que na segunda campanha, 33% (23/70) das amostras apresentaram teores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Em ambas as campanhas, nenhuma das amostras apresentou teores de manganês acima do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, podendo ser indicado o uso dessas águas para consumo humano, recreação e irrigação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Do total de amostras analisadas, apenas 4% (3/70) dos poços na segunda campanha apresentaram teor de manganês que ultrapassaram o limite recomendado para dessedentação animal, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**). Os poços que apresentaram teores de manganês fora dos padrões para dessedentação animal foram PIN32, STM05 e MAU07, localizados respectivamente nas cidades de Parintins, Santarém e Manaus.

Os histogramas de frequência de manganês ilustrados na **figura 3.24** nos dois períodos de amostragem foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para manganês com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 3.48**). Sendo assim, com base nos dados de média, mediana e valores máximos observa-se que os teores de manganês no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Isso é justificável, pois a maior presença de oxigênio na zona não saturada no período de estiagem dá lugar a oxidações do manganês, aumentando a sua concentração na zona saturada.

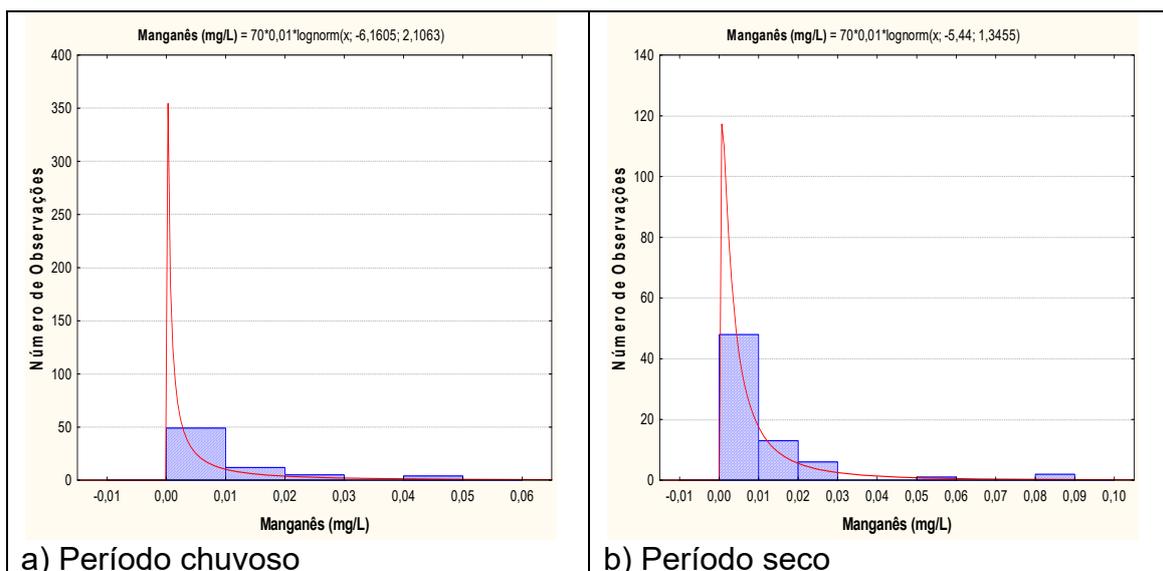


Figura 3.24 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Alter do Chão, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com Feitosa *et al.* (2008), o manganês frequentemente está presente com baixos teores, < 0,2 mg/L em quase todas as águas naturais, sendo mais abundante nas águas ácidas, o que é plausível na área de estudo, pois no aquífero Alter do Chão, nas duas campanhas de amostragem, as águas são naturalmente ácidas.

Tabela 3.48 – Distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Alter do Chão no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mn-1	0,0021	0,0004	0,0001	0,0001	2,79E-05	1,57E-05
Mn-2	0,0016	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001
Razão	1,3	0,8	0,3	0,5	0,3	0,2

3.7.13 – Metais Pesados

Os resultados analíticos de metais pesados das amostras de água do aquífero Alter do Chão, coletadas durante a segunda campanha de amostragem realizada em outubro de 2012, podem ser observados no **anexo 12.1.3**. Os metais pesados analisados foram: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco. Como esses parâmetros apresentam risco à saúde humana, a Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram limites máximos de padrão de potabilidade, conforme descrito no **item 2.13**.

Arsênio

Todos os 10 (dez) poços amostrados no aquífero Alter do Chão, na segunda campanha realizada em outubro de 2012, apresentaram valores de arsênio abaixo do limite de detecção, ou seja, resultados <0,001 mg/L.

Bário

Dentre as 10 (dez) análises de amostras de água do aquífero Alter do Chão foi detectada a presença de bário em 80% (8/10), onde os teores variaram de 0,00225 a 0,0316 mg/L. Neste sentido, os teores encontrados estão abaixo do limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, não oferecendo riscos para a saúde humana. Além disso, todas as análises indicam que as águas do aquífero Alter do Chão podem ser utilizadas para o consumo humano e a recreação, segundo padrões da resolução CONAMA 396/2008. As demais amostras, cerca de 20% (2/10) apresentaram teores de bário abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Cádmio

No período de estiagem (outubro de 2012), as 10 (dez) análises realizadas no aquífero Alter do Chão apresentaram teores de cádmio abaixo dos limites de detecção de 0,001 mg/L.

Chumbo

Do total de amostras analisadas na segunda campanha, 50% (5/10) apresentaram teores de chumbo inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L. Os demais poços revelaram valores de chumbo que variaram de 0,00129 a 0,00627 mg/L, todos abaixo do padrão definido pela Portaria MS 2914/2011 e pela Resolução CONAMA 396/2008, o que indica que as águas podem ser usadas para todos os usos nela prescritos.

Cobre

As análises de metais pesados realizadas nas águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão indicaram que 50% (5/10) das amostras apresentaram teores de cobre abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L, enquanto que os 50% (5/10) restantes obtiveram resultados de cobre que variaram de 0,00139 a 0,1504 mg/L. Os teores encontrados estão abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, assim como dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação.

Cromo

As 10 (dez) amostras analisadas apresentaram teores de cromo abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Mercúrio

Do total de amostras analisadas na segunda campanha do aquífero Alter do Chão, 80% (8/10) apresentaram teores de mercúrio abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L e 20% (2/10) apresentaram teores de mercúrio abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Níquel

As 10 (dez) amostras analisadas apresentaram teores de níquel abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Zinco

No aquífero Alter do Chão foi detectada a presença de zinco em 70% (7/10) das amostras, com teores que ficaram compreendidos entre 0,00329 e 0,0611 mg/L. Apesar das 7 (sete) amostras apresentarem presença de zinco, todas estavam com valores abaixo do VMP de potabilidade definido pela Portaria MS 2914/2011, bem como, dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas do Aquífero Alter do Chão poderiam ser utilizadas para todos os usos nela prescritos sem restrições. As demais amostras, cerca de 30% (3/10), apresentaram teores de zinco abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

3.7.14 – BTEX e Fenóis

3.7.14.1 – BTEX

O grupo de compostos BTEX formado pelo Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (orto, meta e para) são extremamente tóxicos à saúde humana, apresentando toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações, podendo levar a lesões do sistema nervoso central.

Devido ao risco potencial a saúde humana que esse grupo de compostos oferece, a Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram limites para que a água seja considerada potável, como pode ser observado no **item 2.14.1**.

Na segunda campanha de amostragem das águas do aquífero Alter do Chão, realizada em outubro de 2012, verificou-se que todas as 10 (dez) amostras de **Benzeno**, **Etilbenzeno** e **Tolueno** apresentaram teores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Todas as 10 (dez) análises de **Xilenos** composta por o,xilenos e m,p xilenos apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L e de 0,002 mg/L, respectivamente.

Todas as amostras coletadas no aquífero Alter do Chão apresentaram teores de BTEX abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.7**), bem como, dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas subterrâneas poderiam ser utilizadas para os usos nela prescritos (**tabela 2.8**).

3.7.14.2 – Fenóis

O fenol ($\text{CH}_6\text{H}_5\text{OH}$) é um sólido branco cristalino em seu estado puro. Geralmente é vendido e utilizado na forma líquida, possui odor forte, levemente doce e irritante.

Considerando os efeitos toxicológicos do fenol, a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceu limites máximos aceitáveis para a água subterrânea, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado no **item 2.14.2**.

No período de estiagem (outubro de 2012), foram realizadas amostragens de água no aquífero Alter do Chão para avaliação dos teores de fenóis, onde se verificou que 80% (8/10) das amostras analisadas apresentaram resultados inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L, enquanto que os 20% (2/10) restantes dos poços apresentaram valores de fenóis igual a 0,0019 mg/L.

De acordo com a resolução CONAMA 396/2008, as águas dos poços amostrados poderiam ser aproveitadas para todos os usos nela prescritos (**tabela 2.9**).

3.7.15 – Isótopos Ambientais

3.7.15.1 – Oxigênio 18 e Deutério

Em hidrologia isotópica, a **equação 2.2** que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig (1961) é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas, conforme pode ser observado no **item 2.15.1**.

Desse modo, a partir da referência supracitada e com base nos resultados das análises (**tabela 3.49**) para o aquífero Alter do Chão, foi elaborado o diagrama (**figura 3.25**) que mostra que a Linha de Água Subterrânea (LAS) ou Reta de Água Subterrânea (RAS) do aquífero Alter do Chão se desvia muito pouco da Linha de Água Meteórica Mundial (LAMM), também chamada de Reta Meteórica Mundial (RMM), conforme se deduz da menor declividade 7,23 da RAS, contra 8,13 da RMM. Comparando as ordenadas na origem das duas equações, (fazendo $\delta^{18}\text{O} = 0$) verifica-se que:

$$\text{Para a RAS: } \delta^{18}\text{O} = - \frac{10,15}{7,23} = -1,404 \text{ ‰}$$

$$\text{Para a RMM: } \delta^{18}\text{O} = \frac{10,8}{8,13} = -1,328 \text{ ‰}$$

Ocorre uma variação de -0,076 na concentração isotópica de $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$ das precipitações, indicando que as águas subterrâneas são provenientes de chuvas, com uma perda de 5,72% de $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$ por evaporação (-0,076/-1,328). Ou seja, isto significa que a água de recarga do aquífero Alter do Chão possui 94,28% do conteúdo de $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$ das águas de chuva e isto confirma que a recarga provém das precipitações.

Tabela 3.49 – Valores de oxigênio-18 e deutério obtidos nas amostras coletadas no aquífero Alter do Chão no período seco (outubro de 2012).

Poço	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta\text{D}\text{‰}$
ALM01	-5,49	-30,0
ALM04	-5,48	-30,2
MAU23	-6,27	-34,5
MAU25	-5,88	-33,9
MAU26	-5,89	-30,8
PIN34	-6,44	-35,6
PIN35	-6,38	-36,4
STM10	-6,49	-36,2
STM42	-7,42	-43,9
STM43	-7,21	-43,0
STM44	-6,52	-36,1

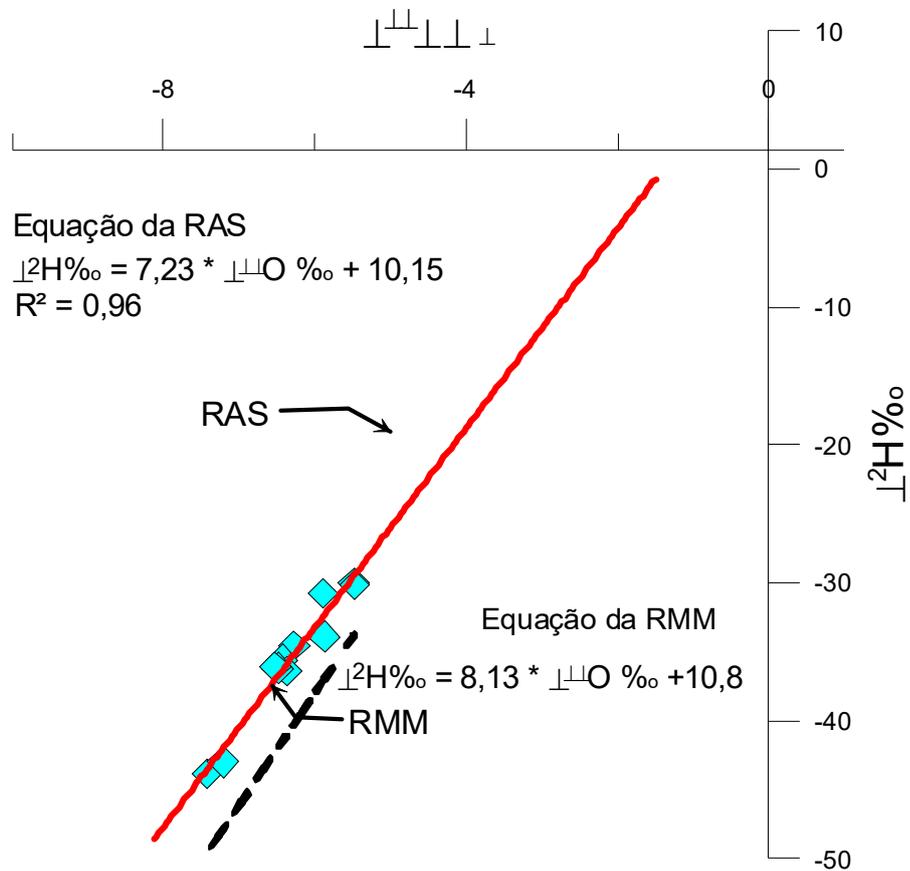


Figura 3.25 – Diagrama mostrando a relação de oxigênio 18 e deutério das precipitações e das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão.

3.7.15.2 – Trício

Clark & Fritz (1997) realizaram uma proposta de interpretação qualitativa de dados de ^3H para dados de regiões costeiras e de baixa latitude, onde é feita uma relação entre os valores de unidades de trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**), conforme descrito no **item 2.15.2**.

Sendo assim, com base nessa relação e nos dados de ^3H obtidos nas 13 (treze) amostras coletadas no aquífero Alter do Chão (**figura 3.26**), é possível verificar que o aquífero Alter do Chão possui água submoderna com recarga anterior a 1952; e mistura de água submoderna com recarga recente.

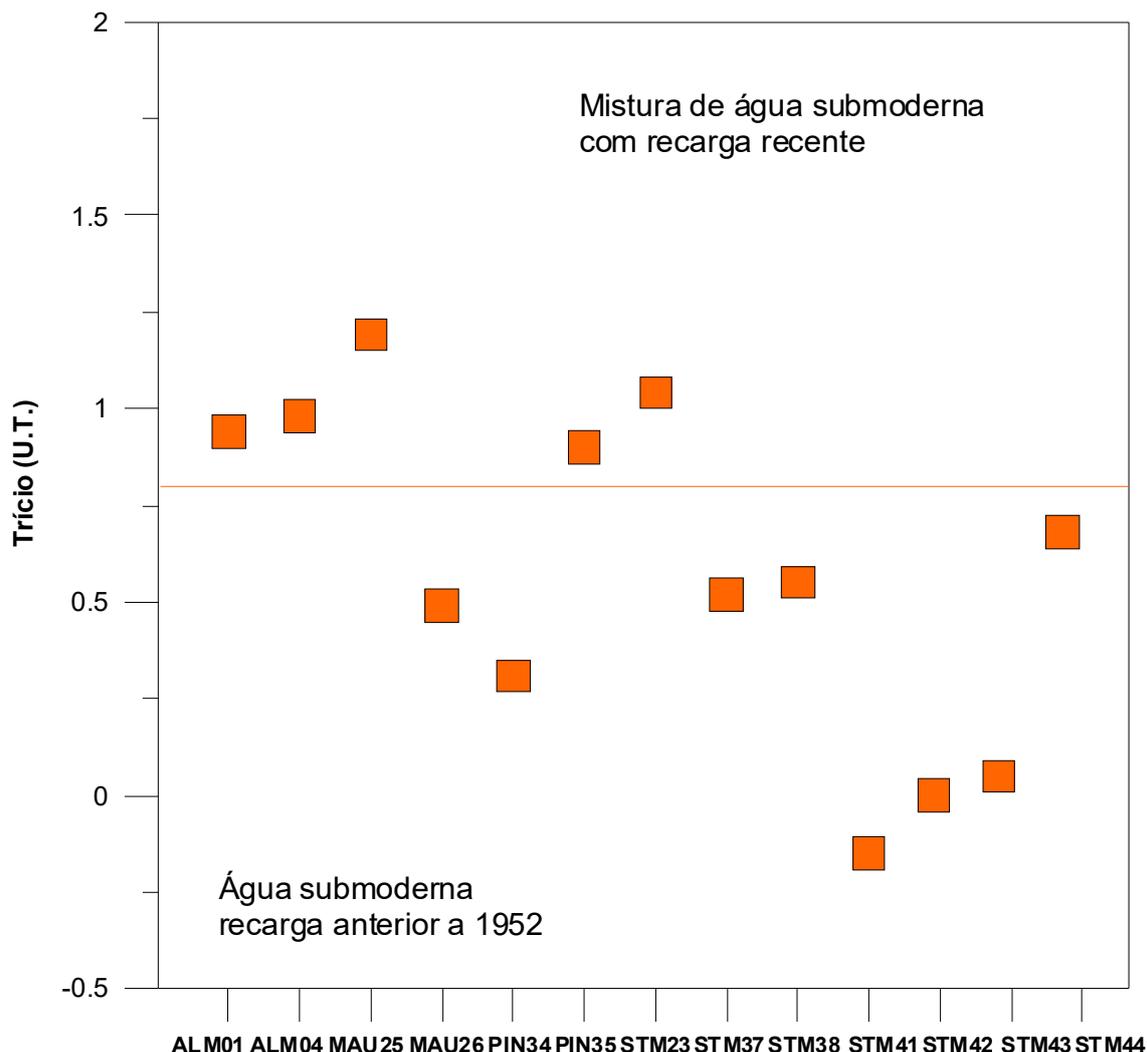


Figura 3.26 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Alter do Chão, segundo os dados de trício de 13 (treze) amostras coletadas.

3.7.15.3 – Carbono 14

De acordo com a metodologia proposta por Münnich (1957) descrita no **item 2.15.3** e com base nos dados contidos na **tabela 3.50**, o diagrama da **figura 3.27** indica que no aquífero Alter do Chão ocorre a presença de água moderna nos poços MAU05 (109 pMC), MAU20 (107,1 pMC), STM37 (110,5 pMC) e STM44 (106,4 pMC), ou seja, água com tempo de residência inferior a 200

anos; e de paleoáguas nos poços MAU04 (2.130 BP), MAU09 (2.370 BP), STM42 (2.700 BP) e STM43 (2.290 BP), isto é, águas com tempo de residência superior a 200 anos.

Tabela 3.50 – Idades aparentes ou convencionais do radiocarbono (^{14}C) em anos BP (before present – 1950) que, quando inferior a 200 anos, é dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (percent modern carbon).

Resultado	MAU04	MAU05	MAU09	MAU20	STM37	STM42	STM43	STM44
Idade Aparente C14 (Fração Moderna)	2130+/- 30 BP	109,0+/- 0,4 pMC	2370+/- 30 BP	107,1+/- 0,3 pMC	110,5+/- 0,4 pMC	2700+/- 30 BP	2290+/- 30 BP	106,4+/- 0,4 pMC
Fmdn- fração de carbono moderno	0,7671 +/-0,0029	1,0897 +/-0,0041	0,7445 +/-0,0028	1,0709 +/-0,0026	1,1047 +/-0,0041	0,7145 +/-0,0027	0,7520 +/-0,0028	1,0642 +/-0,0039
Razão C13/C12 (‰)	-23,9	-23,4	-22,5	-19,8	-24,8	-24,7	-23,7	-21,7

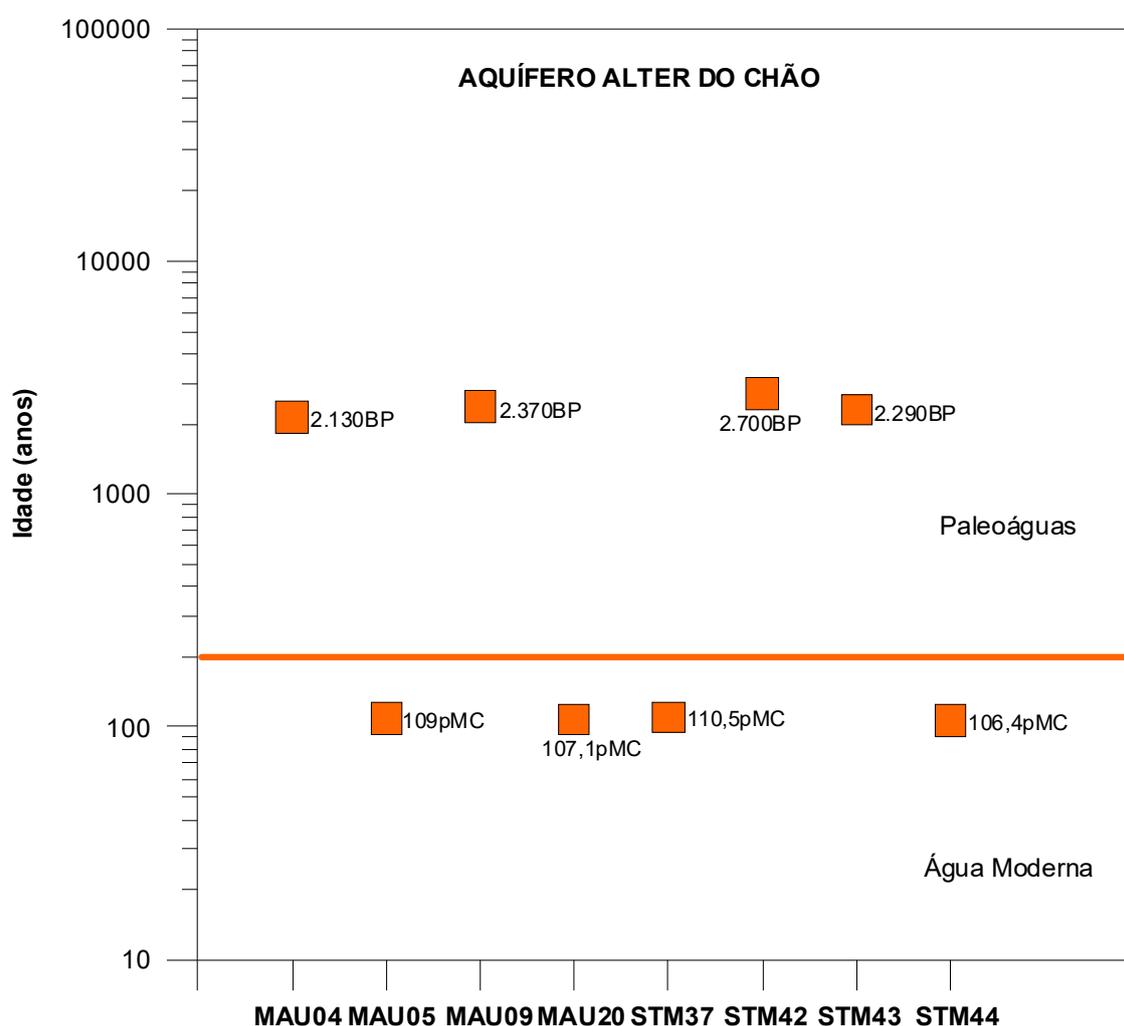


Figura 3.27 – Idades medidas com carbono 14 de amostras de água do aquífero Alter do Chão.

3.7.15.4 - Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no aquífero Alter do Chão permitiram alcançar os seguintes resultados:

- As análises de Oxigênio-18 e Deutério levaram a concluir que a recarga do aquífero Alter do Chão provém de águas meteóricas, ou seja, águas de chuva com 5,72% de perda de $\delta^{18}\text{O}$ por evaporação;
- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) e indicaram que o aquífero Alter do Chão possui água submoderna com recarga anterior a 1952; e mistura de água submoderna com recarga recente;
- A datação radiométrica de Carbono-14 revelou a presença de água moderna com menos de 200 anos BP e paleoáguas com idades compreendidas entre 2130 e 2700 BP.
- Os resultados isotópicos obtidos no aquífero Alter do Chão são coerentes, porque além da existência de águas recentes infiltradas sobre o Planalto Tapajós-Xingu e que circulam em descenso para os rios locais, há também a indicação da existência de águas mais antigas armazenadas em profundidade na parte superior do aquífero regional intitulado Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB).

3.7.16 – Parâmetros Biológicos

Coliformes Totais

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano, a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do Aquífero Alter do Chão apresentaram em 34% (24/70) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 39% (27/70) das amostras.

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, 66% (46/70) dos poços na primeira campanha e 61% (43/70) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano, o que é extremamente preocupante, haja vista que a população da área de estudo utiliza a água dos poços para todos os usos, principalmente o doméstico.

Nota-se que a quantidade de poços contaminados no período de estiagem foi maior, pois com a cessação do período de cheias, ocorre a diminuição da renovação das águas e conseqüentemente dos contaminantes ali presentes, o que é extremamente preocupante, pois segundo Zoby (2008) a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

Escherichia Coli

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

Nas duas campanhas de amostragem, 11% (8/70) dos poços apresentaram águas com a presença de *E. coli*.

Com base nos resultados das análises, verifica-se que em ambas as coletas 89% (62/70) dos poços apresentaram padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como, nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 indicando que as suas águas podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**).

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo, da falta de manutenção do reservatório, localização inadequada do poço e a falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

Dessa forma, fica evidente que a presença de *E. coli* no aquífero Alter do Chão se deve provavelmente ao lançamento de esgoto *in natura*, que infiltra no solo e contribui para a contaminação do lençol freático, o que é extremamente preocupante, pois pode acarretar na população doenças de veiculação hídrica, tais como, amebíase, giardíase, gastroenterite, febres tifoide e paratifoide, hepatite infecciosa e cólera.

3.7.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Alter do Chão Segundo a Composição Química

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e até polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão, com base nos dados coletados na rede de 70 (setenta)

poços de monitoramento, em duas campanhas: a primeira, no período chuvoso (abril de 2012) e a segunda no período de estiagem (outubro de 2012).

3.7.17.1 – Diagrama Triangular de Piper

Período chuvoso

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 3.28**, é possível identificar que as águas do aquífero Alter do Chão, no período chuvoso (abril de 2012), no que se refere aos ânions são 81,4% (57/70) cloretadas, 17,1% (12/70) bicarbonatadas e 1,4% (1/70) mistas. Já no que concerne a presença de cátions, as águas são 92,9% (65/70) sódicas, 4,3% (3/70) mistas e 2,9% (2/70) cálcicas.

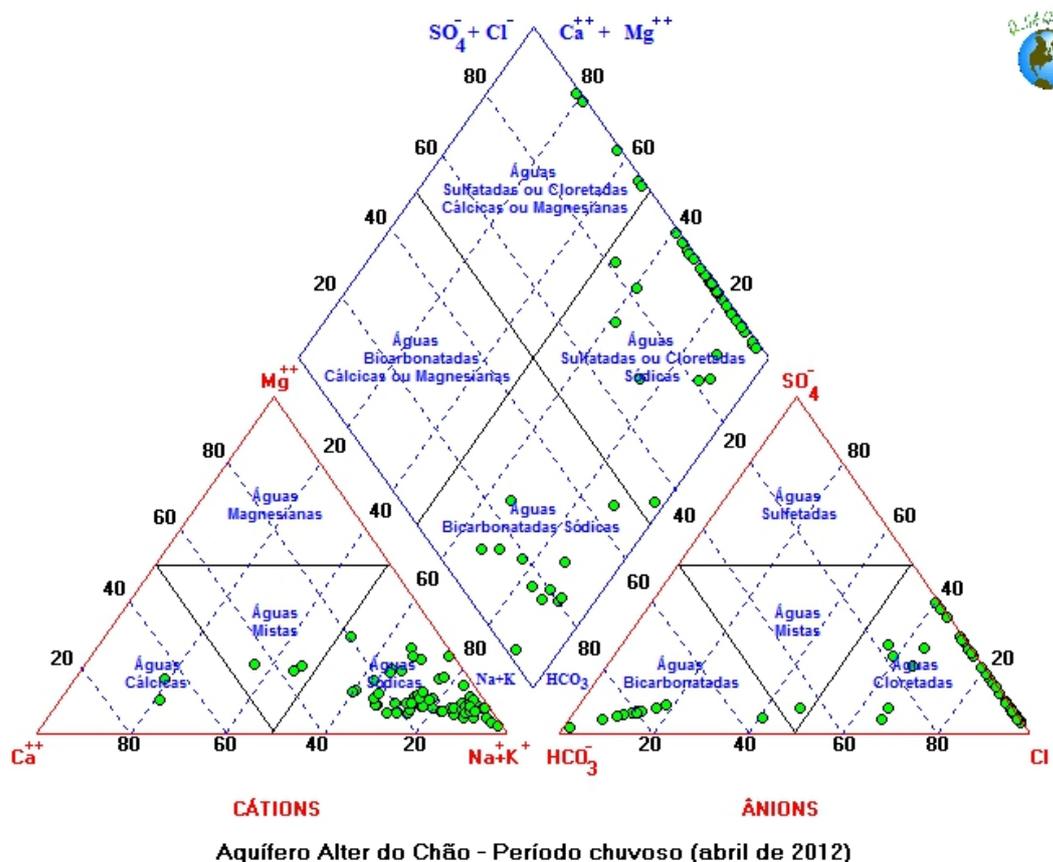


Figura 3.28 – Classificação das águas do aquífero Alter do Chão, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.

Com base nos dados apresentados na **tabela 3.51** é possível dizer que de forma geral, as águas do aquífero Alter do Chão são classificadas como cloretadas sódicas (76%), bicarbonatadas sódicas (17%) e cloretadas cálcicas (7%), permitindo concluir que as águas do aquífero Alter do Chão no período chuvoso são em sua maioria do tipo *Cloretadas Sódicas*.

Tabela 3.51 - Classificação das Águas do Aquífero Alter do Chão segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).

Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfetadas	0	0	Águas Cloretadas Cálcidas	5	7
Águas Cálcidas	2	2,9	Águas Bicarbonatadas	12	17,1	Águas Bicarbonatadas Cálcidas ou Magnesianas	0	0
Águas Sódicas	65	92,9	Águas Cloretadas	57	81,4	Águas Bicarbonatadas Sódicas	12	17
Águas Mistas	3	4,3	Águas Mistas	1	1,4	Águas Cloretadas Sódicas	53	76

Período de estiagem

De acordo com a **figura 3.29** verifica-se que as águas do aquífero Alter do Chão, no período seco (outubro de 2012), quanto à presença de ânions, são 87,1% (61/70) cloretadas, 10% (7/70) bicarbonatadas e 2,9% (2/70) mistas. Com relação aos cátions é possível identificar que 91,4% (64/70) das águas são sódicas, 4,3% (3/70) cálcicas e 4,3% (3/70) mistas.

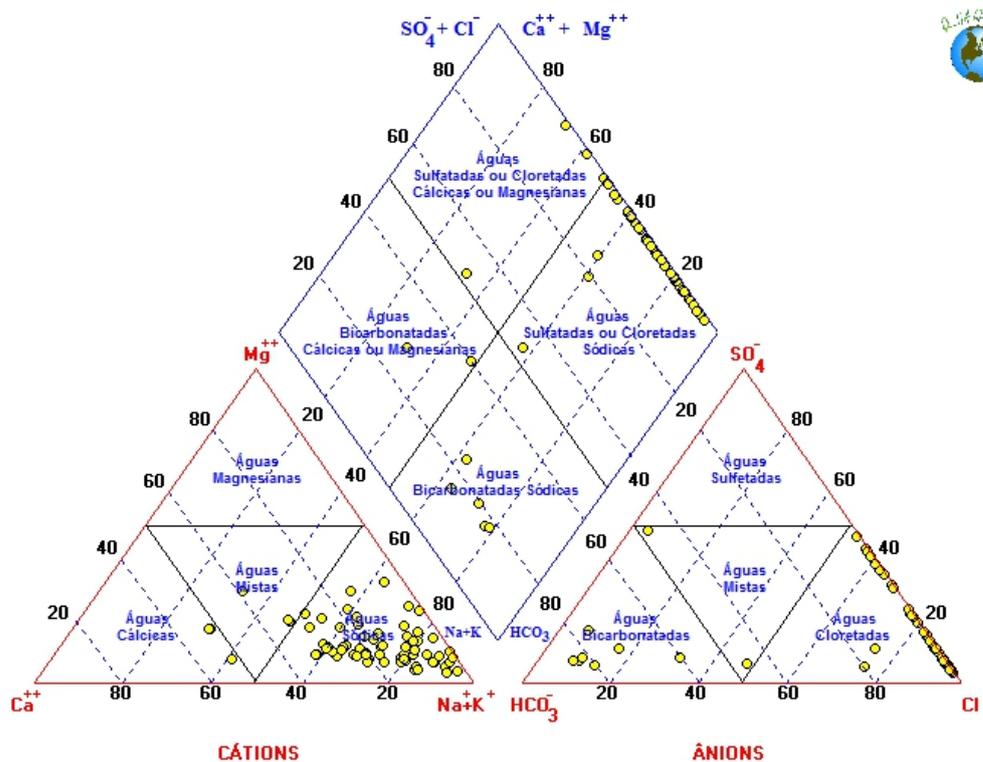


Figura 3.29 – Classificação das águas do aquífero Alter do Chão, coletadas no período seco (outubro de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.

De forma geral, as águas do aquífero Alter do Chão são classificadas como cloretadas sódicas (84%), bicarbonatadas sódicas (7%), cloretadas cálcicas (6%) e bicarbonatadas cálcicas (3%), como pode ser observado na **tabela**

3.52. Tais dados permitem concluir que no período seco, as águas do aquífero Alter do Chão são classificadas em sua maioria como *Cloretadas Sódicas*.

Tabela 3.52 - Classificação das Águas do Aquífero Alter do Chão, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).

Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfetadas	0	0	Águas Cloretadas Cálcidas	4	6
Águas Cálcidas	3	4	Águas Bicarbonatadas	7	10	Águas Bicarbonatadas Cálcidas	2	3
Águas Sódicas	64	91	Águas Cloretadas	61	87	Águas Bicarbonatadas Sódicas	5	7
Águas Mistas	3	4	Águas Mistas	2	3	Águas Cloretadas Sódicas	59	84

Analisando os resultados das duas campanhas de amostragem, verifica-se que a composição química das águas subterrâneas do Aquífero Alter do Chão em sua maioria são *Cloretadas Sódicas* e que este padrão não se modifica com a sazonalidade.

3.7.17.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012 em 70 poços situados no aquífero Alter do Chão, foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos os íons predominantes no local.

Período chuvoso

Os resultados da primeira campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Alter do Chão segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 3.53**.

Tabela 3.53 - Classificação das águas do aquífero Alter do Chão, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Cloretada Sódica	55	79
Água Bicarbonatada Sódica	12	17
Água Cloretada Cálcida	03	4

Verificou-se que as amostras do aquífero Alter do Chão coletadas no período chuvoso, em abril de 2012, são 79% (55/70) cloretadas sódicas (**figura 3.30a**), 17% (12/70) bicarbonatadas sódicas (**figura 3.30b**) e 4% (3/70) cloretadas cálcicas (**figura 3.30c**). Tais dados, permitem classificar as águas do Aquífero Alter do Chão em abril de 2012 em sua maioria como *Cloretadas Sódicas*.

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

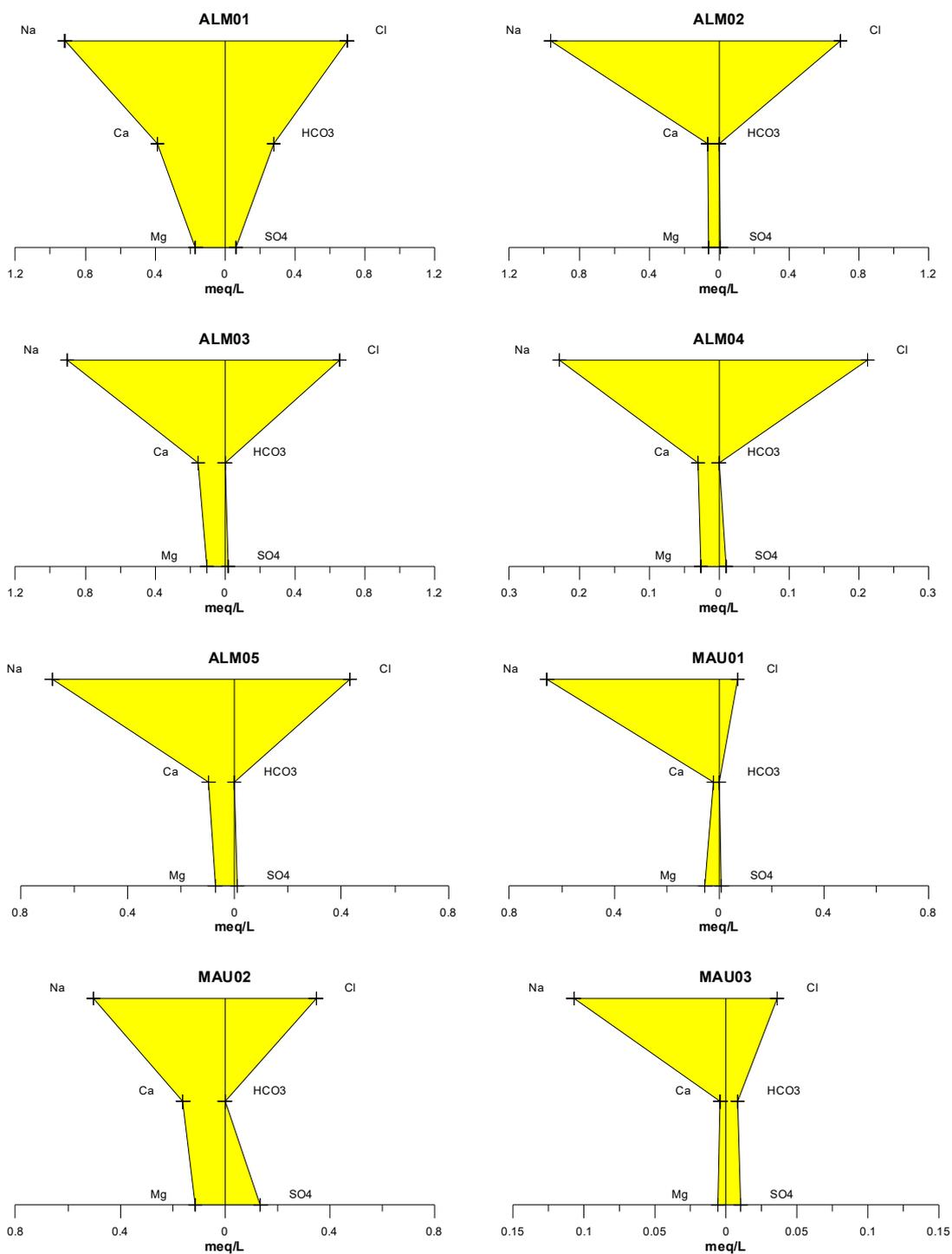


Figura 3.30a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão.

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

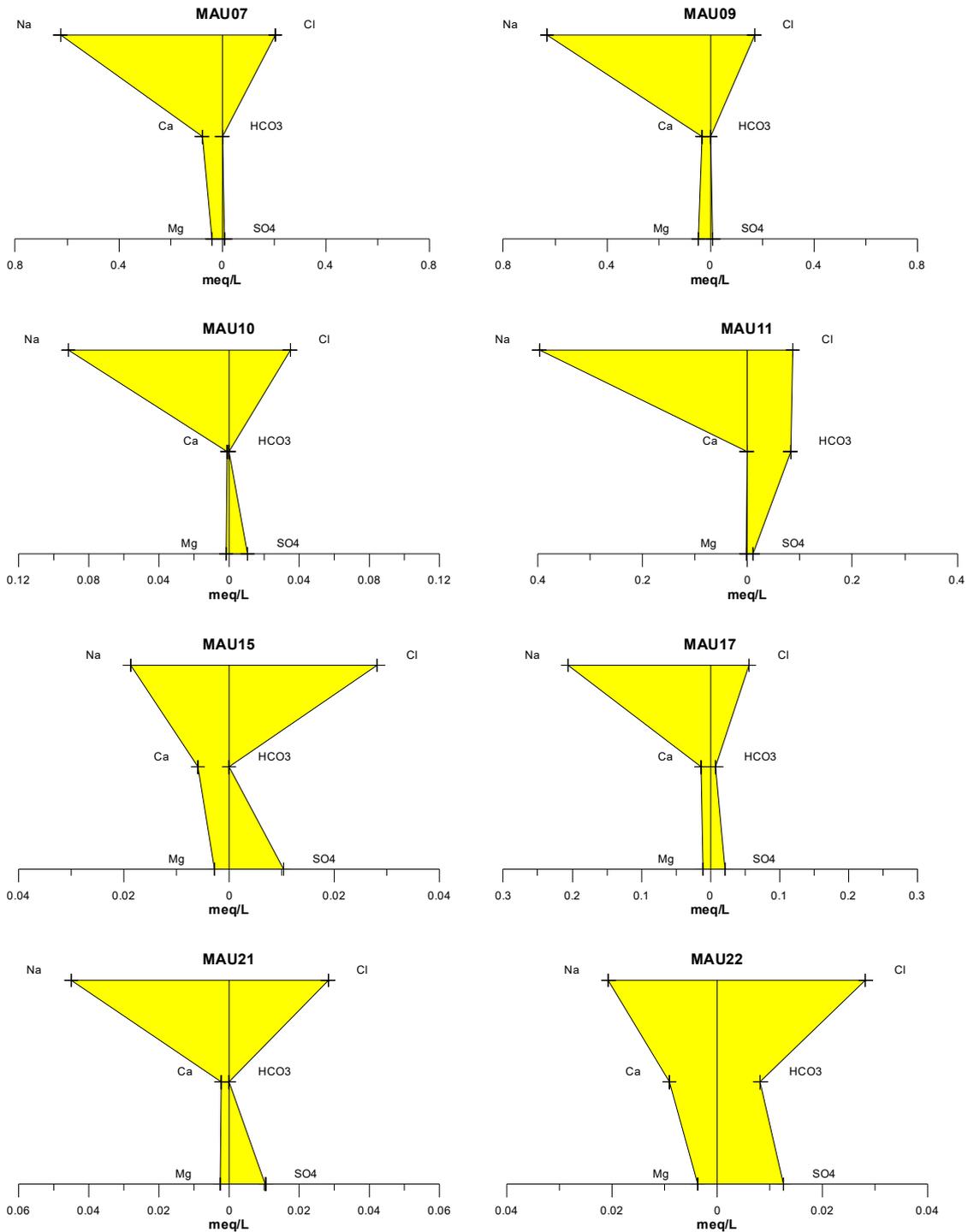


Figura 3.30a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

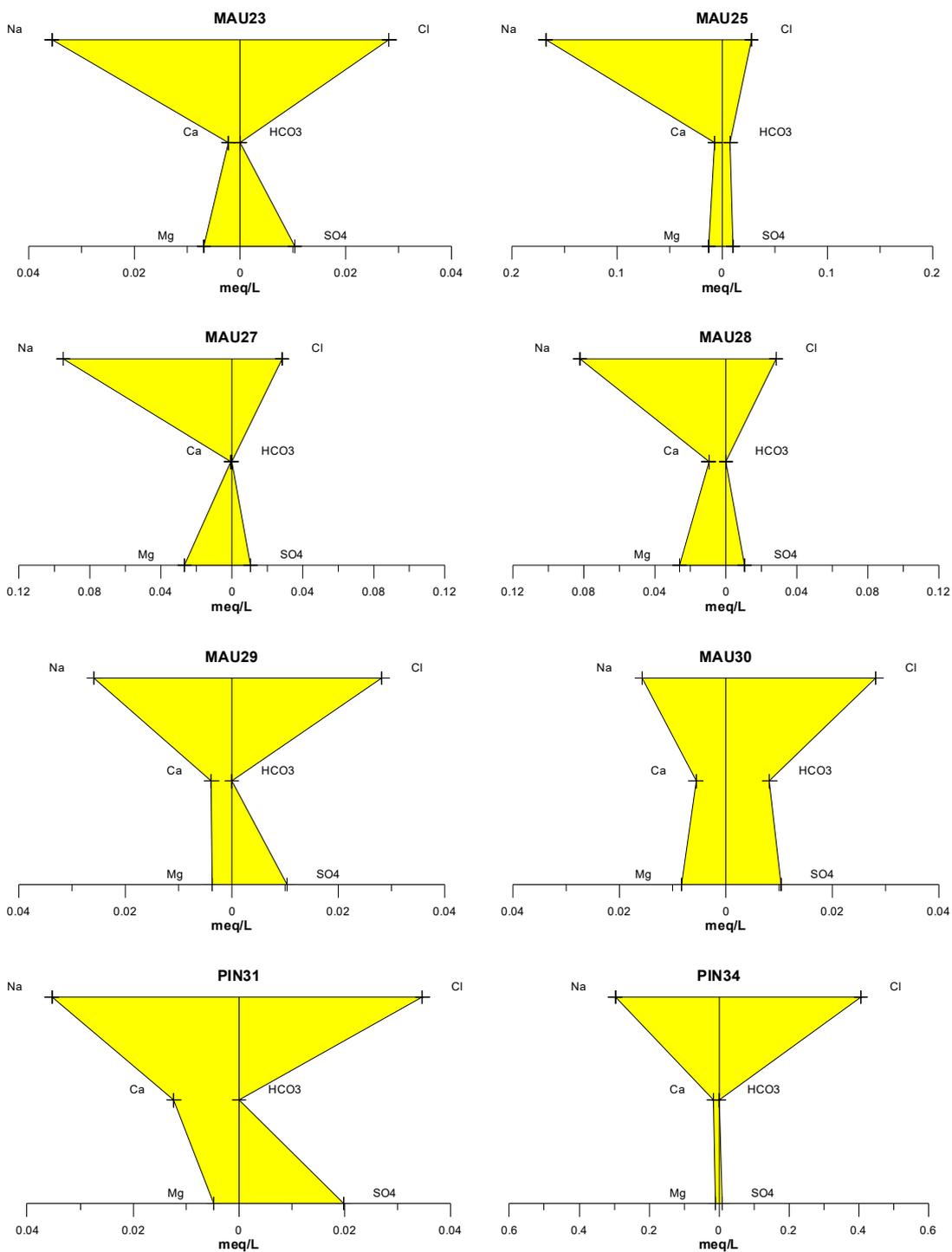


Figura 3.30a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

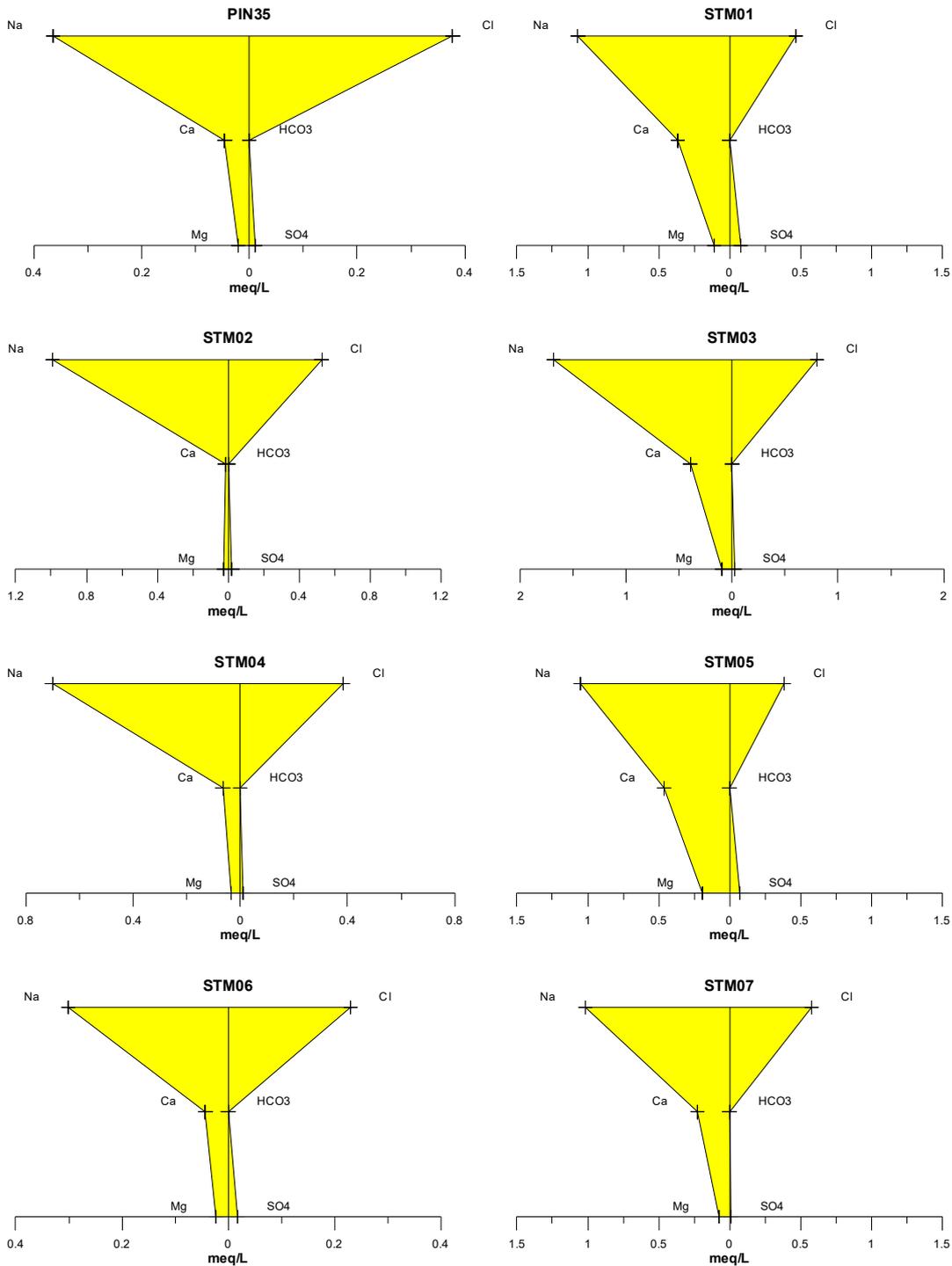


Figura 3.30a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

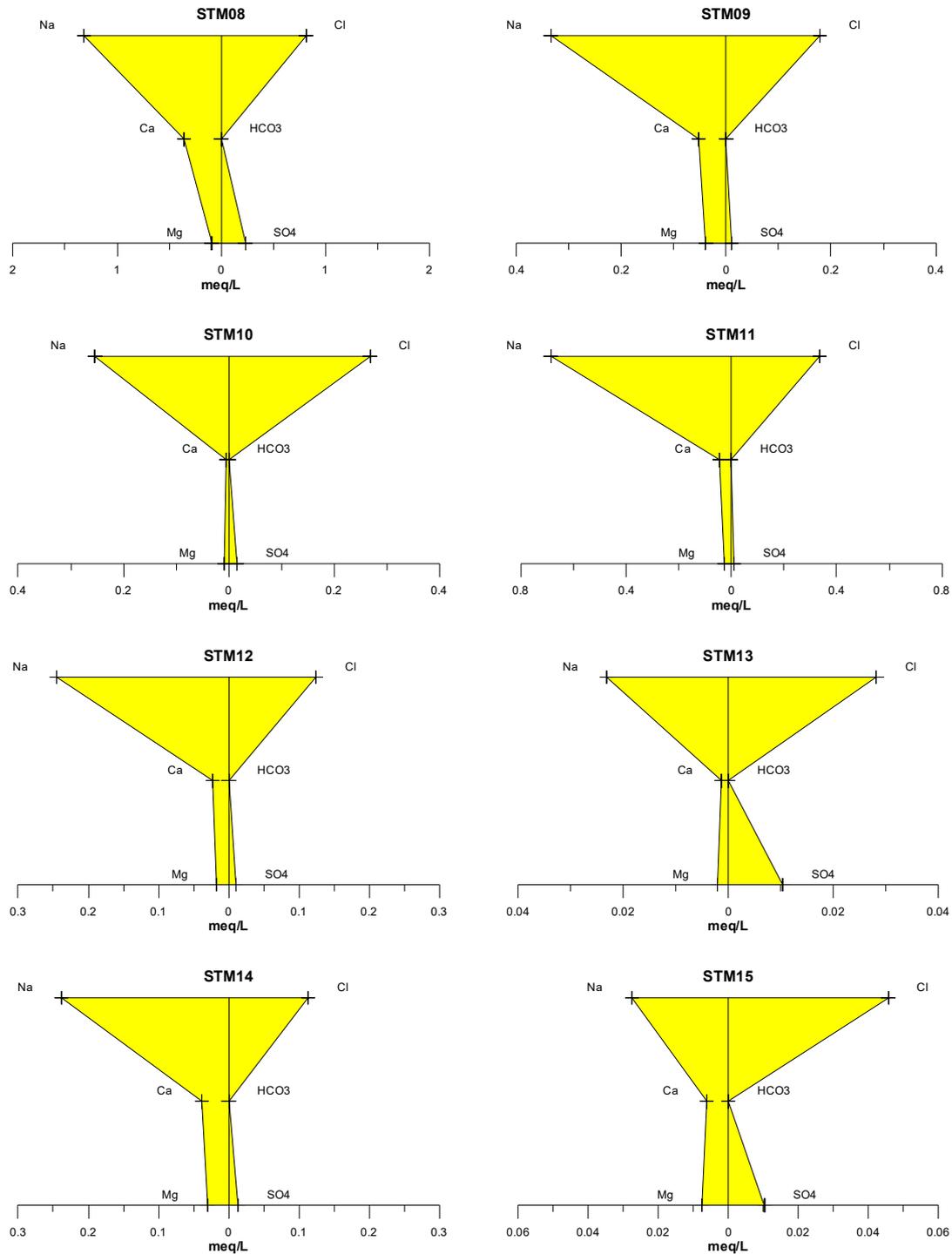


Figura 3.30a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

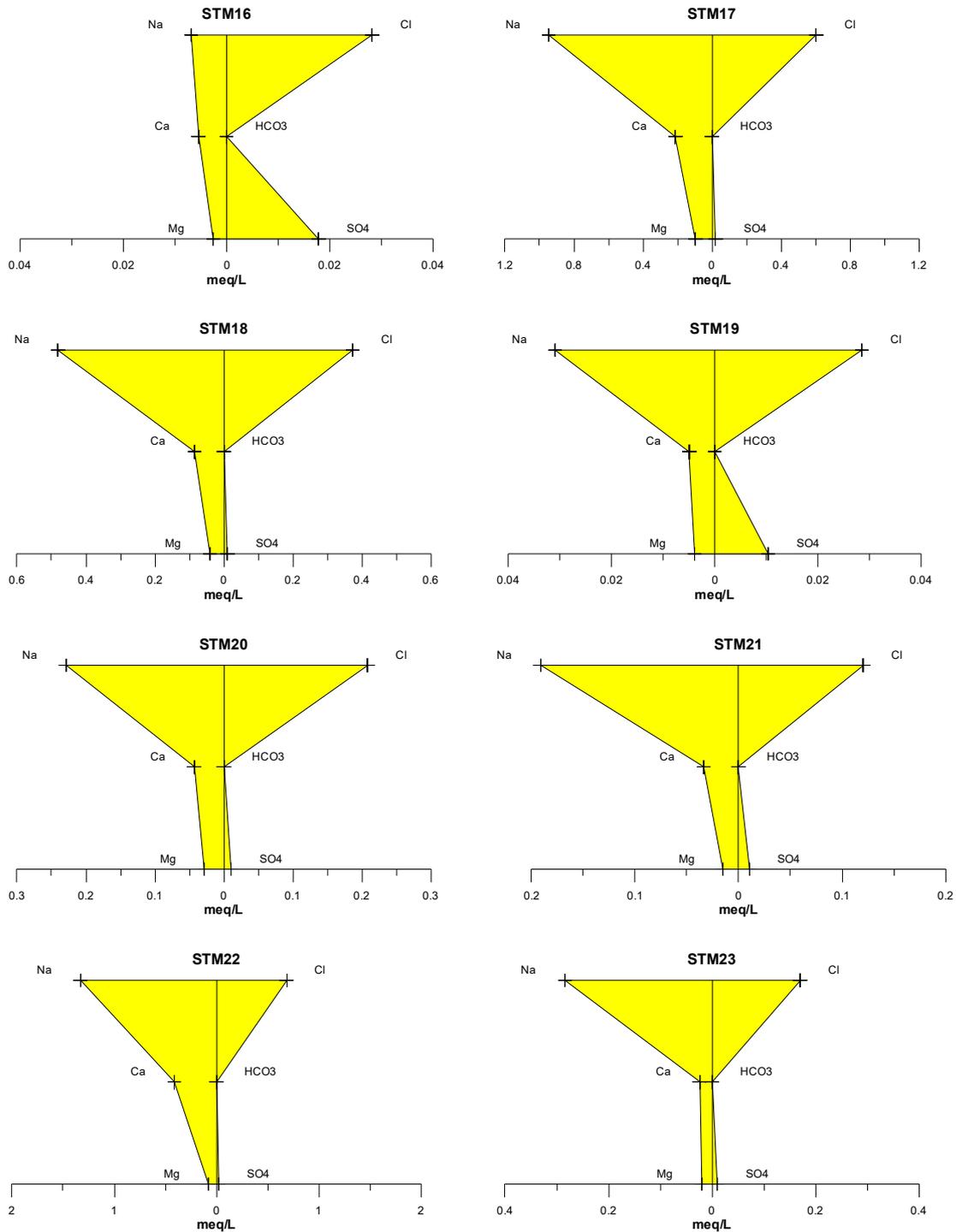


Figura 3.30a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

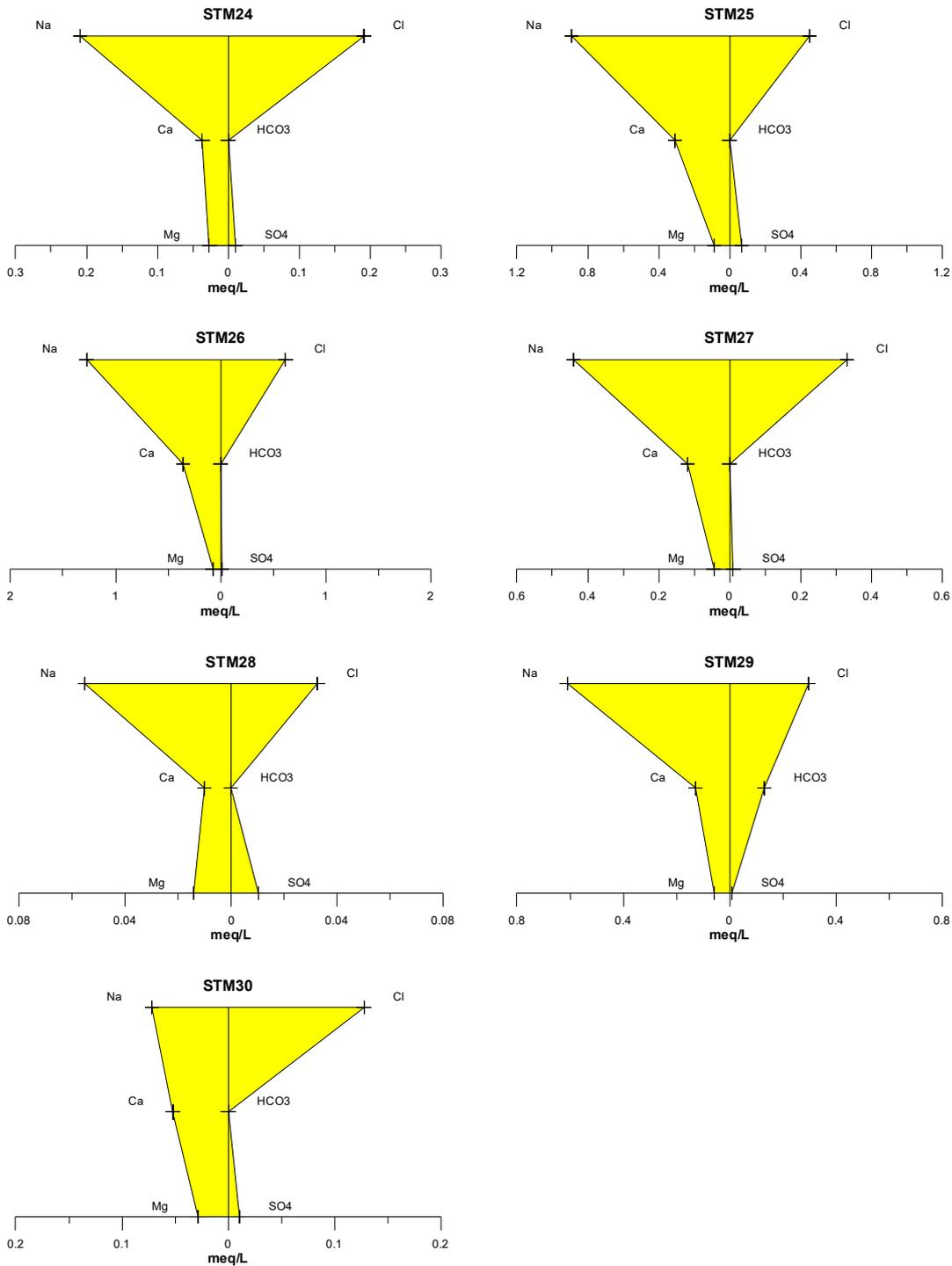


Figura 3.30a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Aquífero Alter do Chão (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – abril de 2012

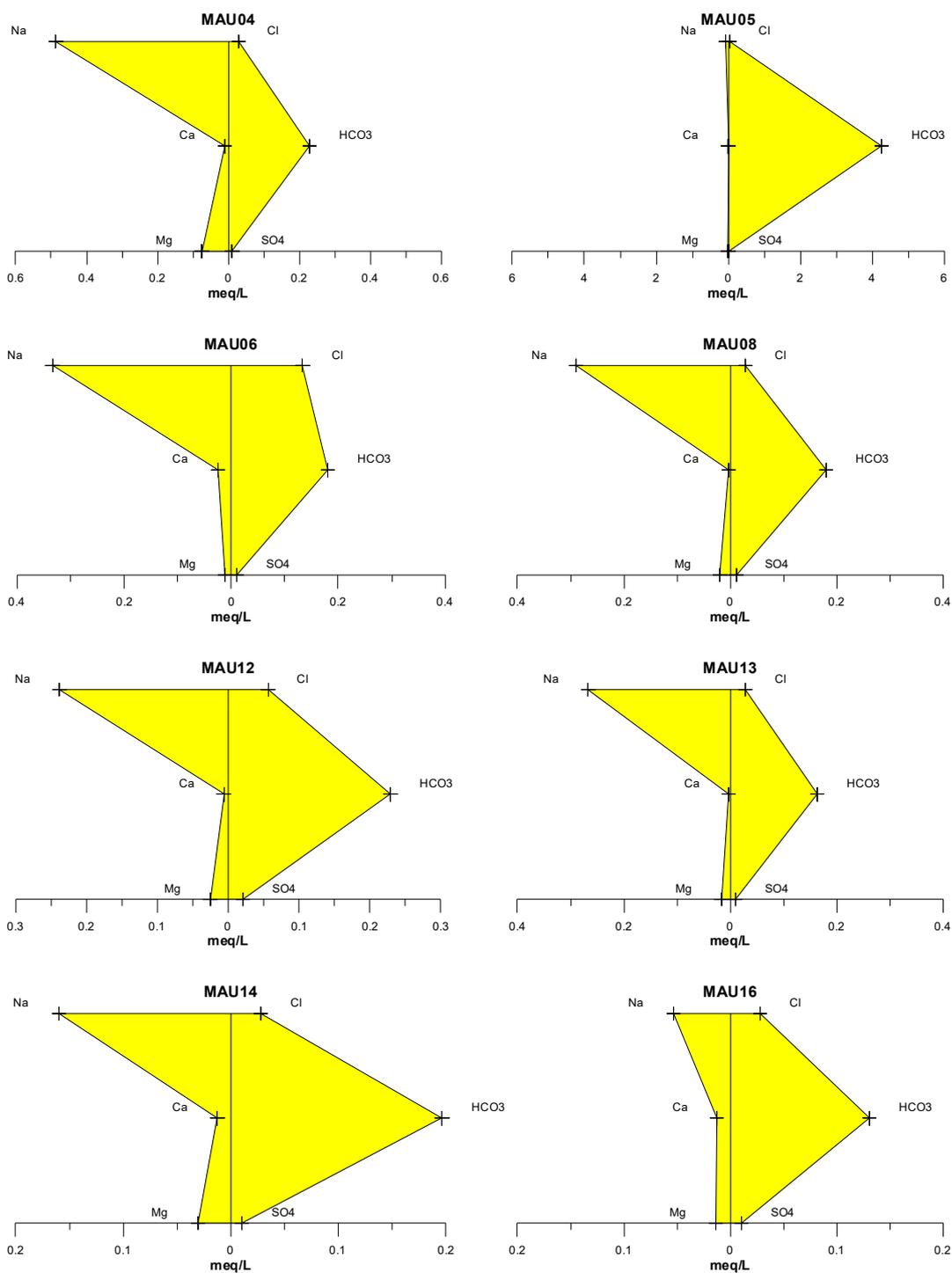


Figura 3.30b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão.

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – abril de 2012

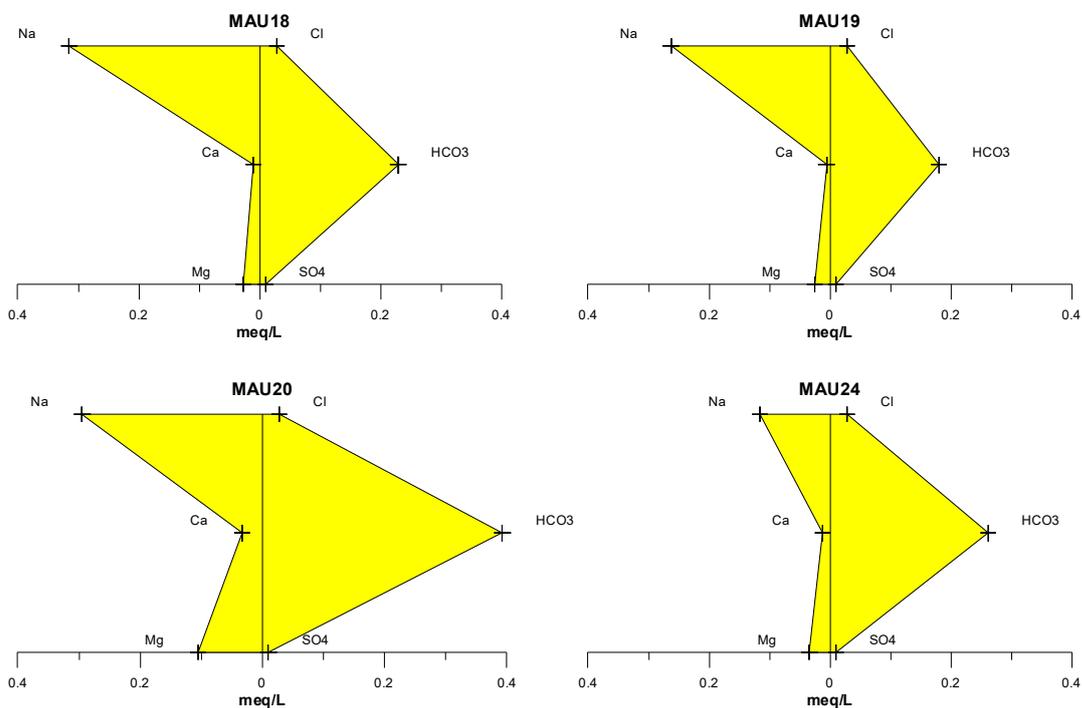


Figura 3.30b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Cálcicas) – abril de 2012

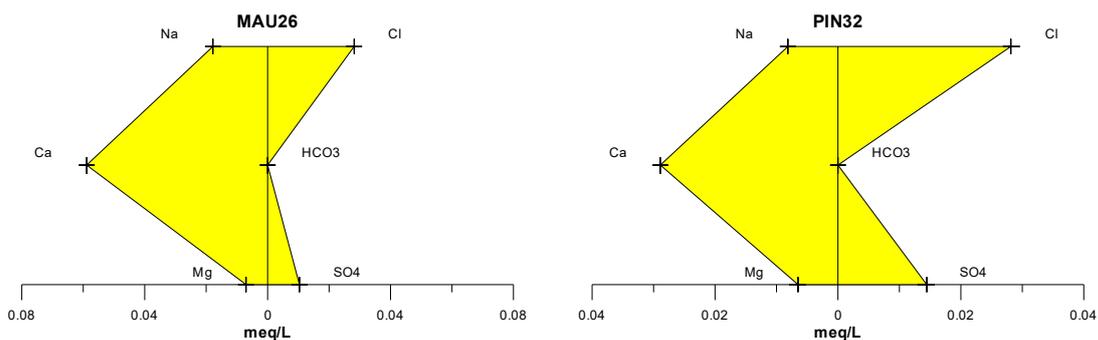


Figura 3.30c – Águas cloretadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão.

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Cálcidas) – abril de 2012

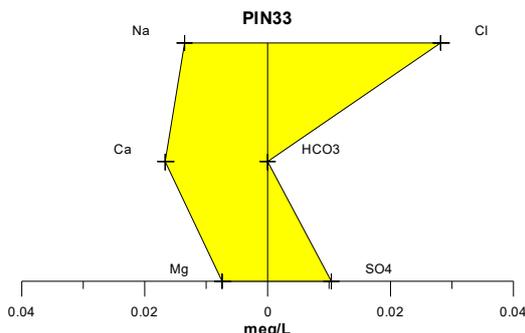


Figura 3.30c – Águas cloretadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Período de estiagem

Os resultados da segunda campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Alter do Chão segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 3.54**.

Tabela 3.54 - Classificação das águas do aquífero Alter do Chão, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Cloretada Sódica	60	86
Água Bicarbonatada Sódica	06	9
Água Cloretada Cálcida	02	3
Água Bicarbonatada Cálcida	01	1
Água Sulfatada Cálcida	01	1

Analisando os resultados das amostras do aquífero Alter do Chão, coletadas no período seco, em outubro de 2012, verificou-se que 86% (60/70) das águas são classificadas como cloretadas sódicas (**figura 3.31a**), 9% (3/70) como bicarbonatadas sódicas (**figura 3.31b**), 3% (2/70) como cloretadas cálcicas (**figura 3.31c**), 1% (1/70) como bicarbonatadas cálcicas (**figura 3.31d**) e 1% (1/70) como sulfatada cálcica (**figura 3.31e**). Portanto são classificadas a maioria das águas do Aquífero Alter do Chão em outubro de 2012 como *Cloretadas Sódicas*.

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

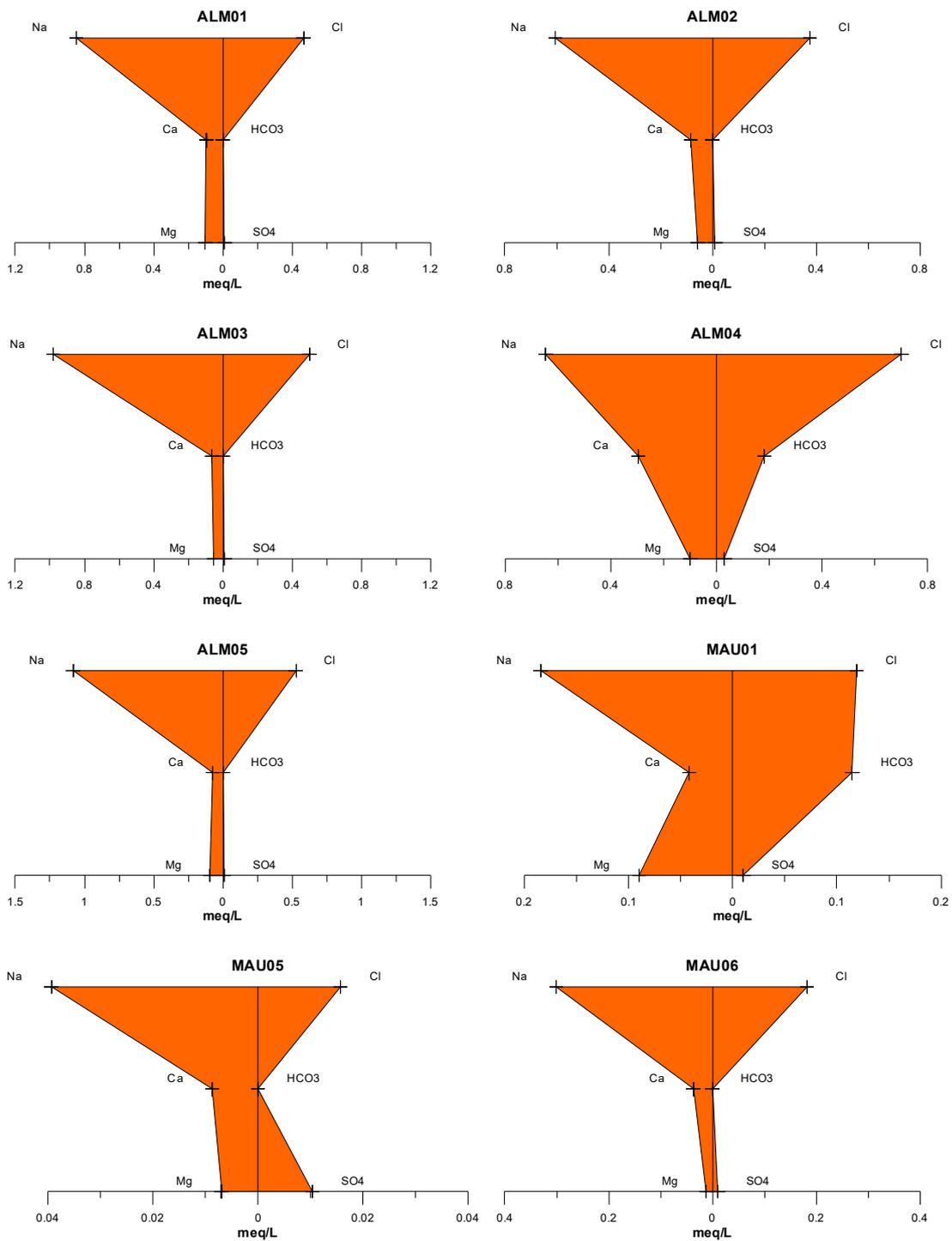


Figura 3.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão.

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

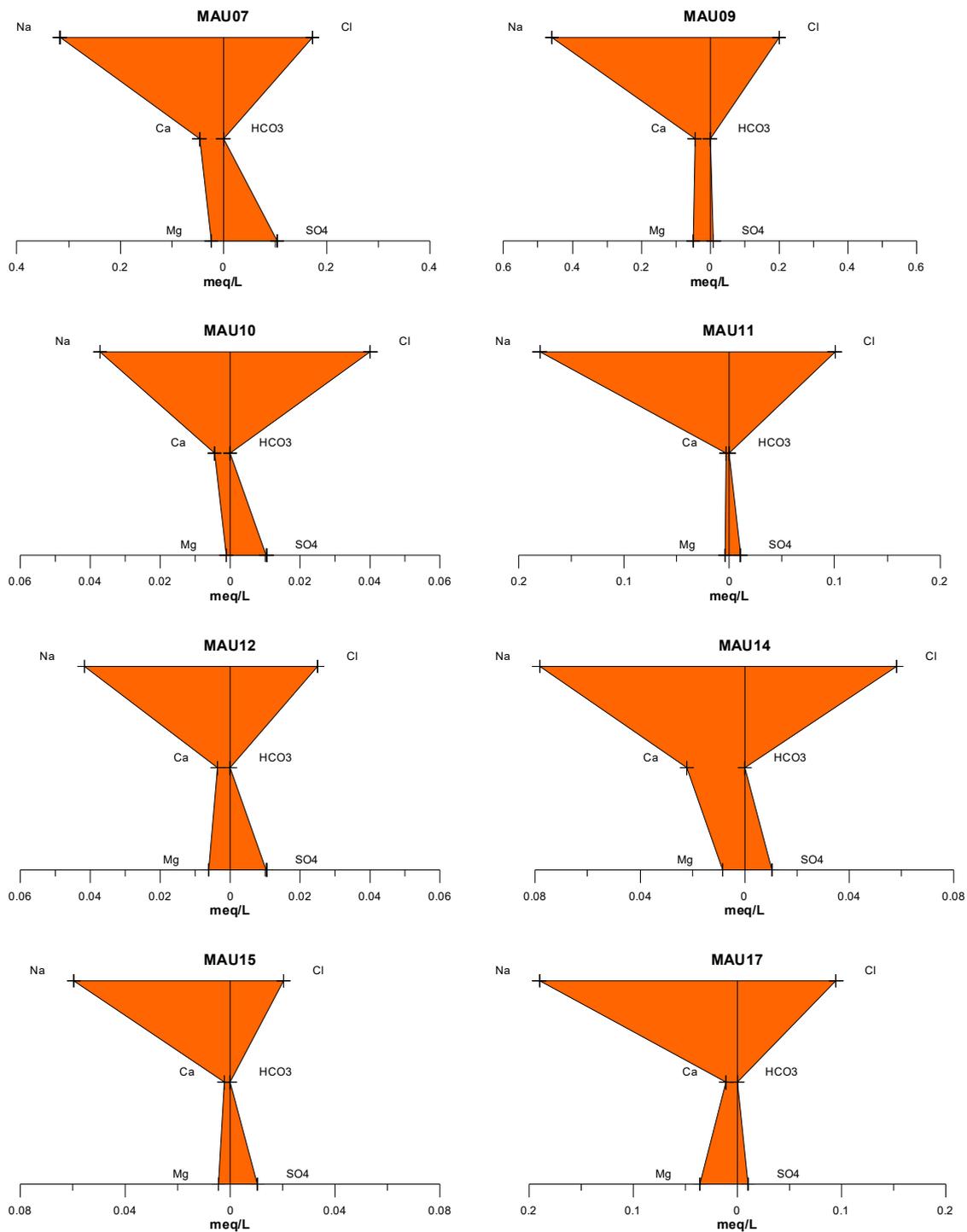


Figura 3.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

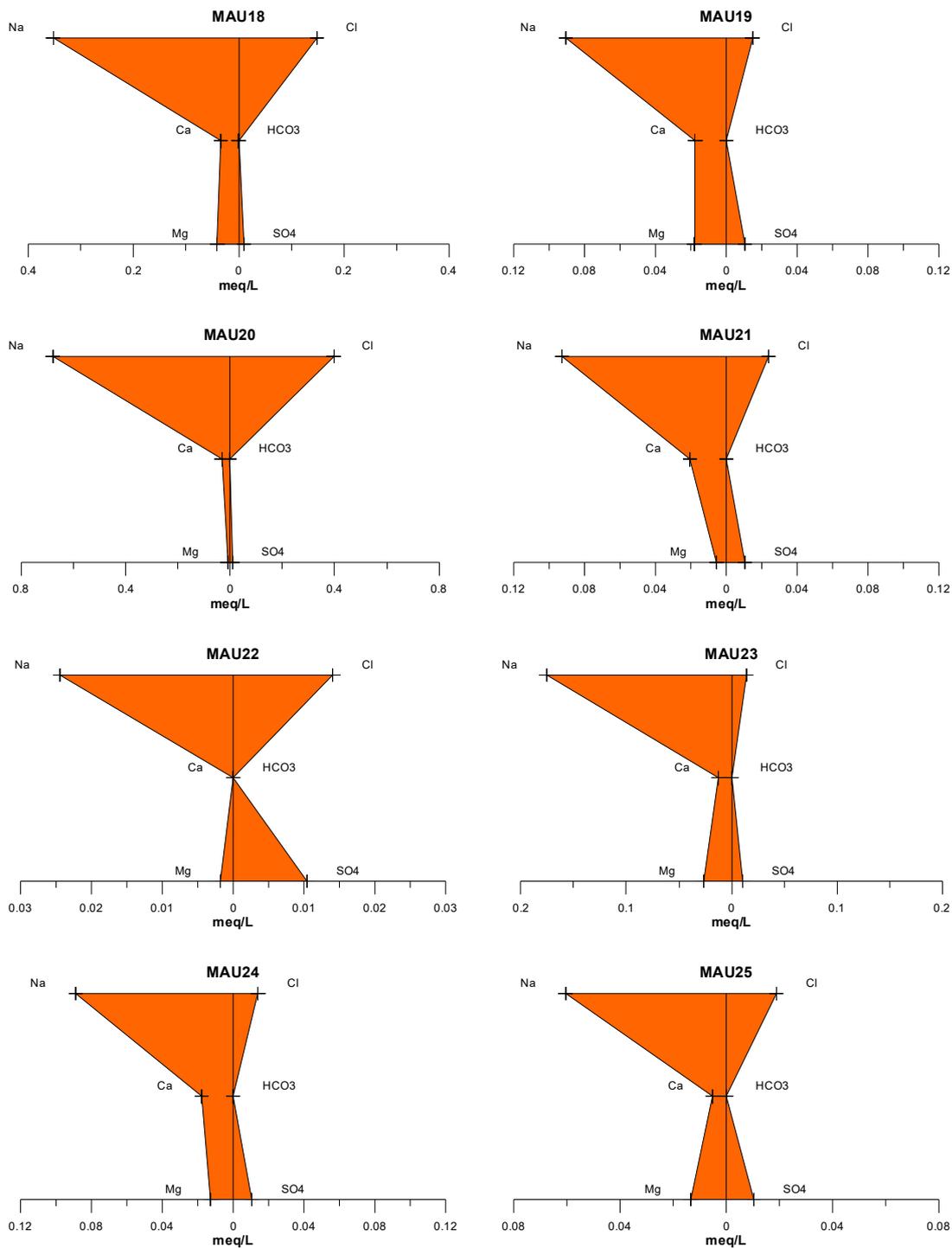


Figura 3.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

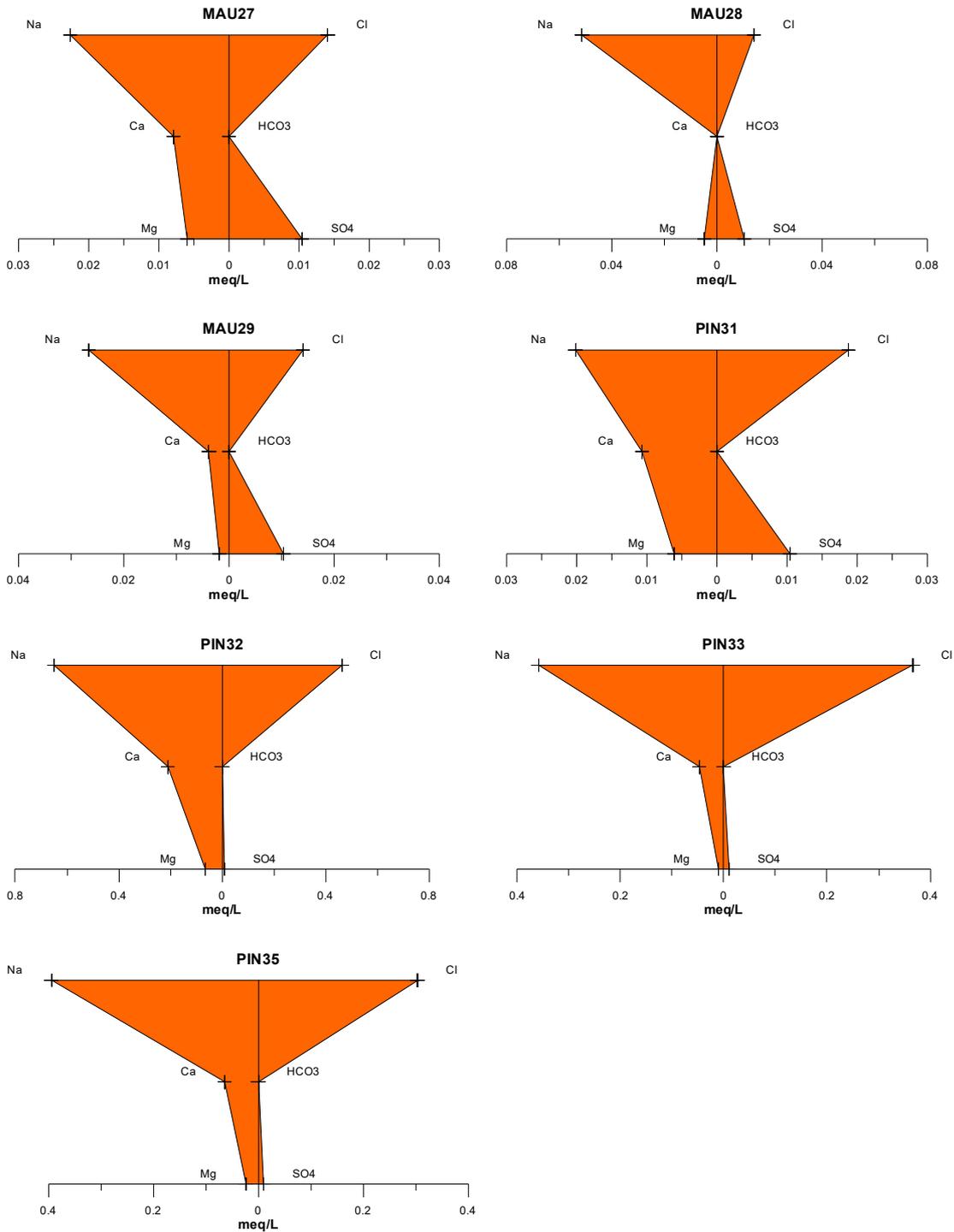


Figura 3.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

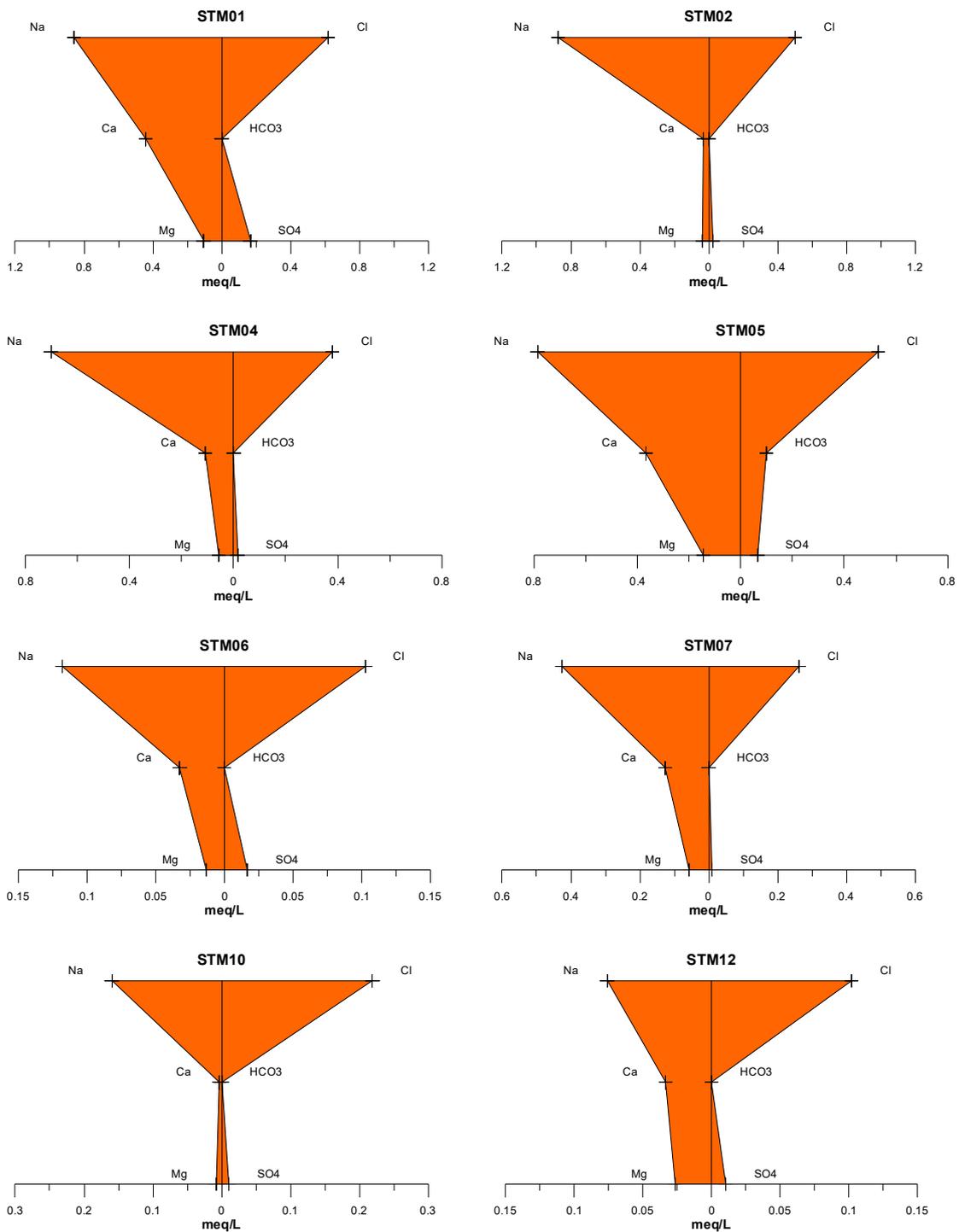


Figura 3.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

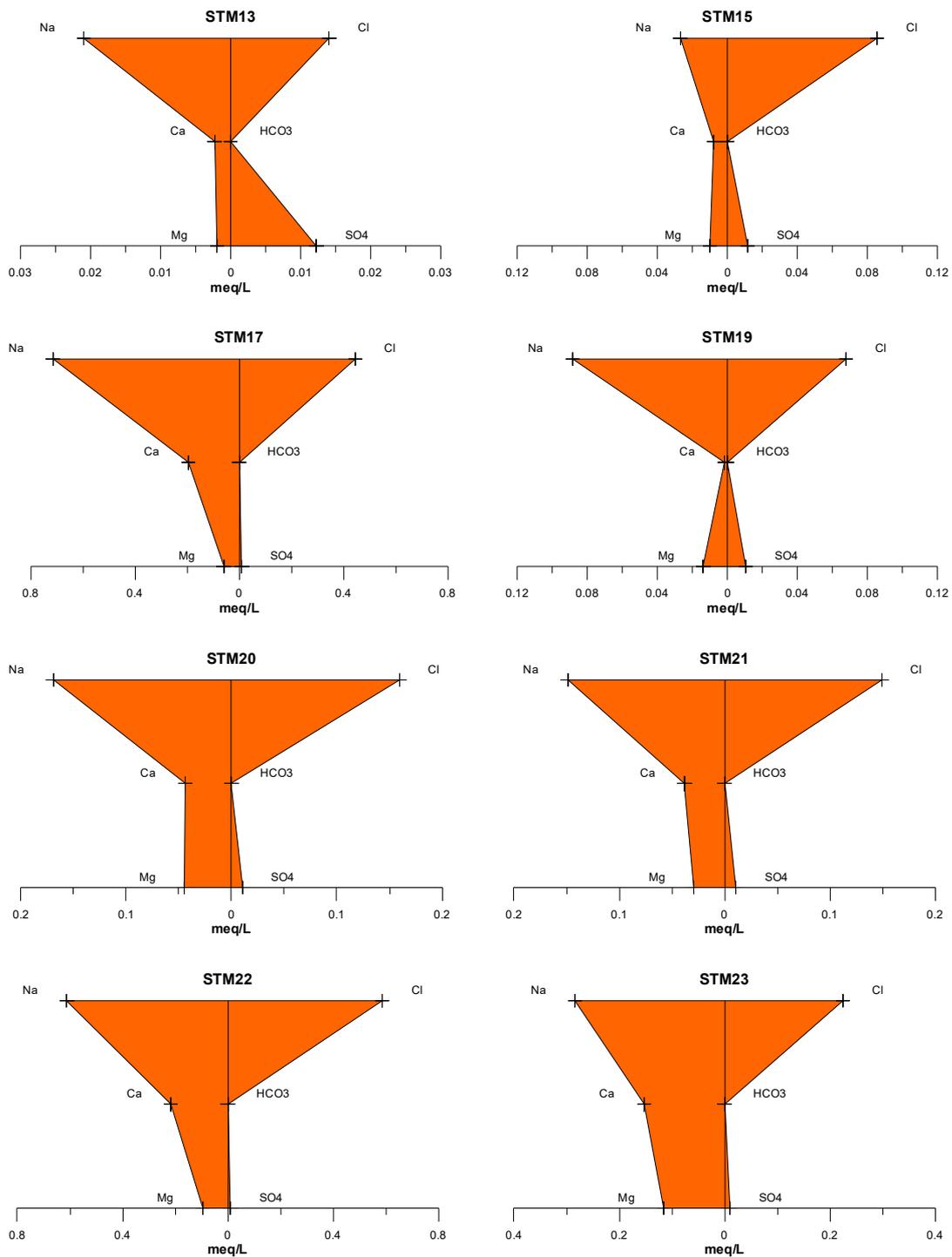


Figura 3.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

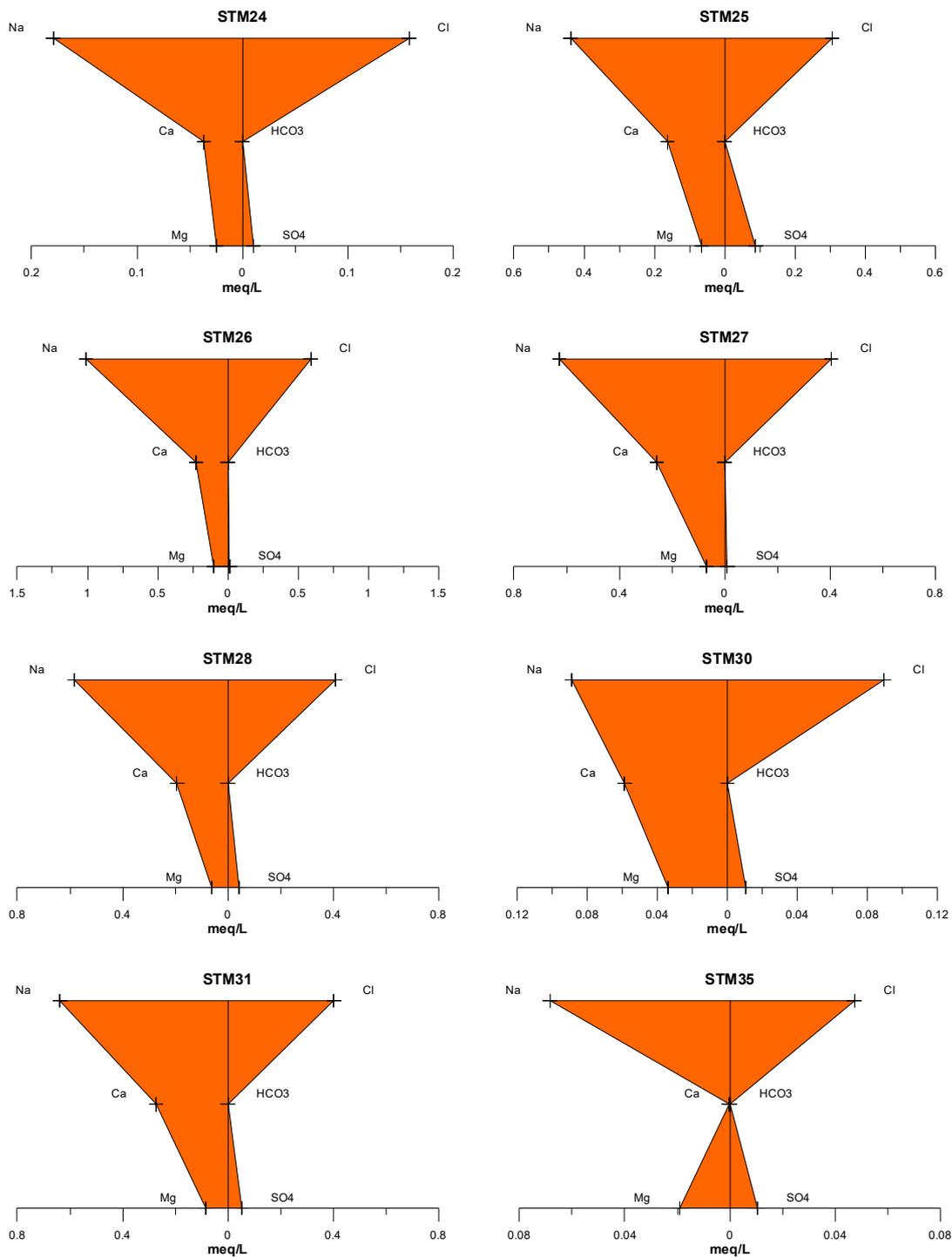


Figura 3.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Continuação

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

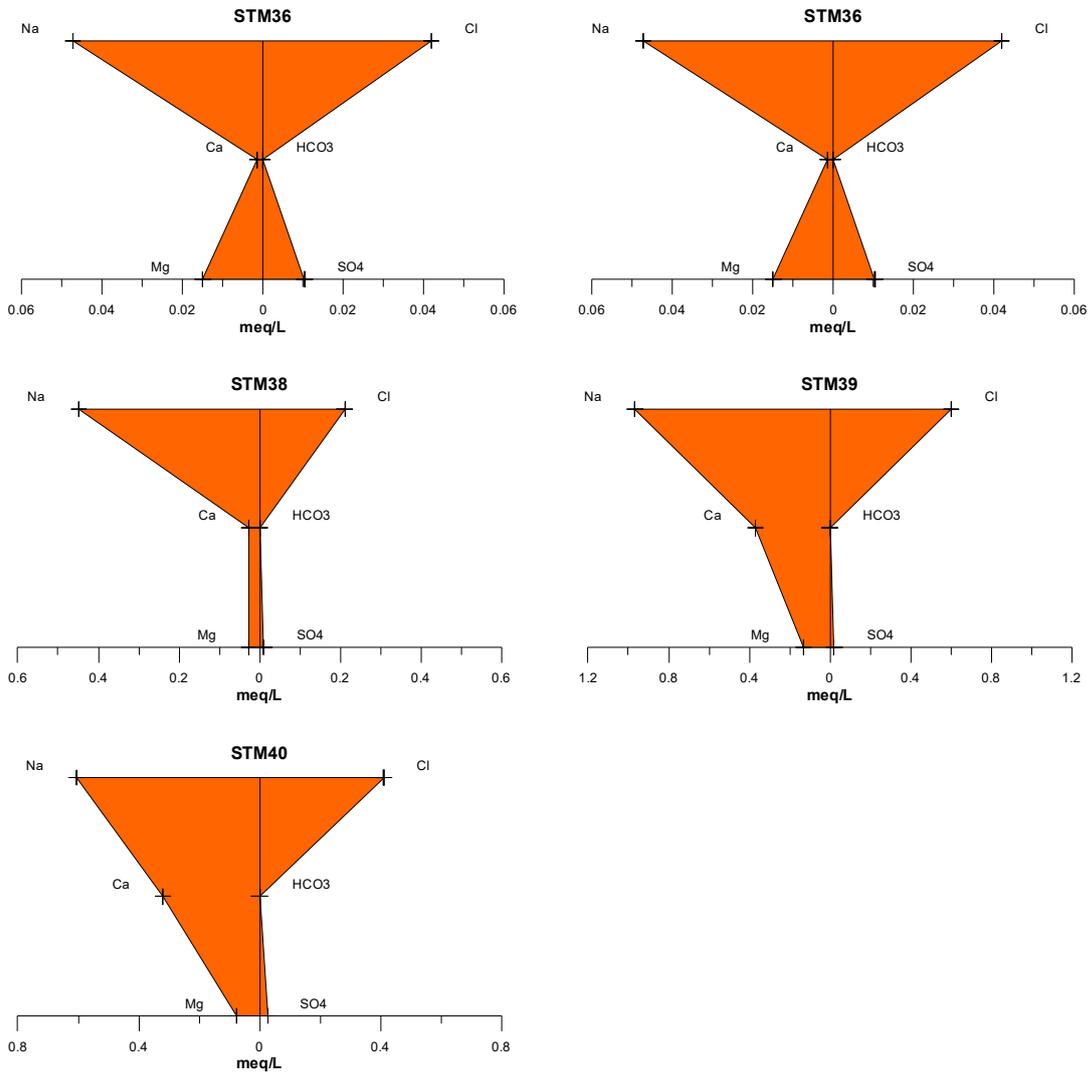


Figura 3.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão (Continuação).

Aquífero Alter do Chão (Águas Bicarbonatadas Sódicas) - outubro de 2012

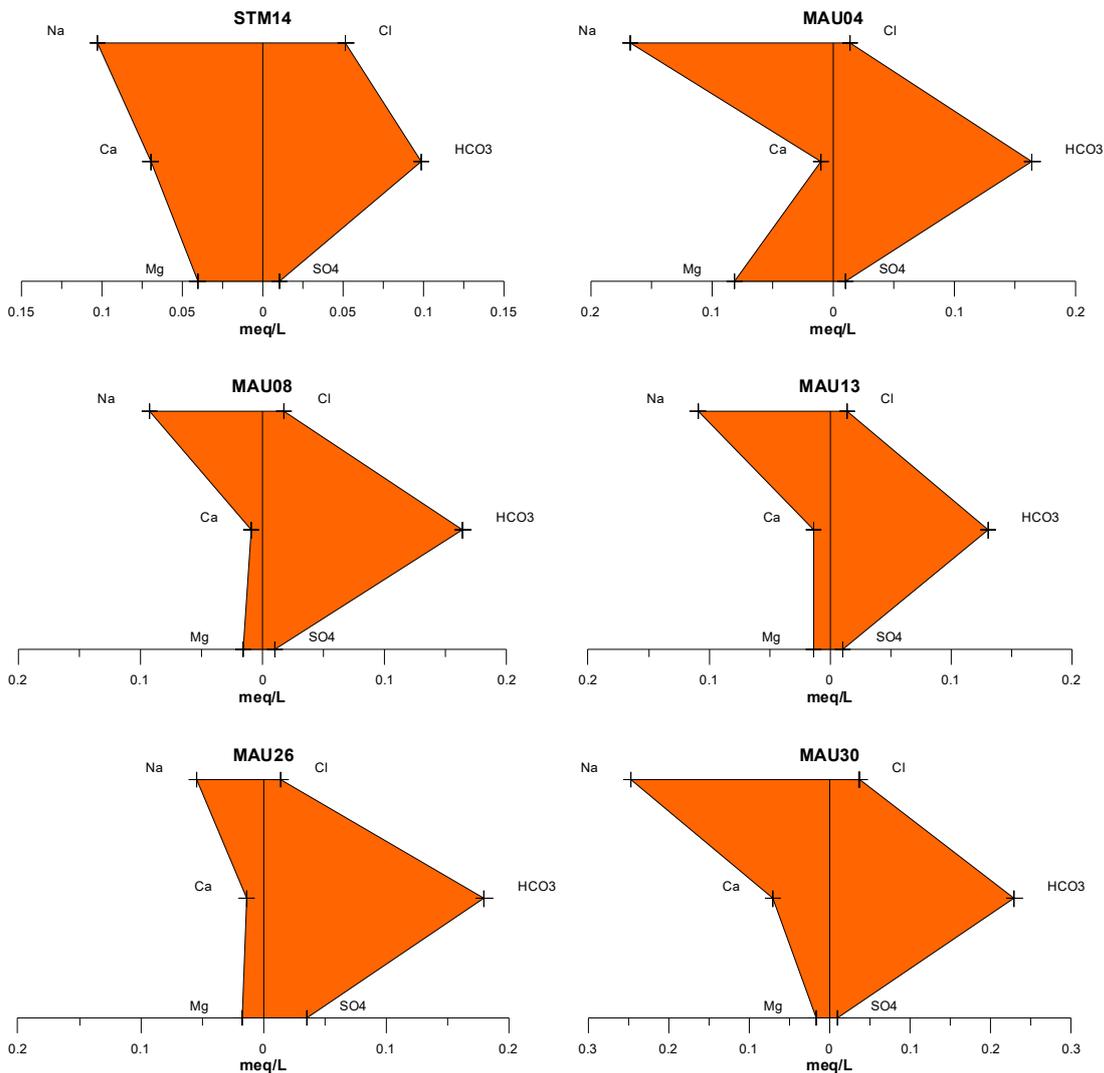


Figura 3.31b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão.

Aquífero Alter do Chão (Águas Cloretadas Cállicas) - outubro de 2012

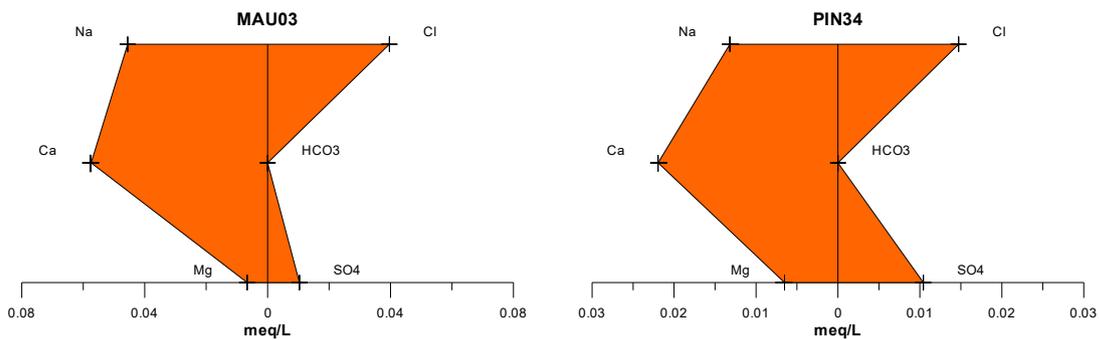


Figura 3.31c – Águas cloretadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão.

Aquífero Alter do Chão (Água Bicarbonatada Cállica) - outubro de 2012

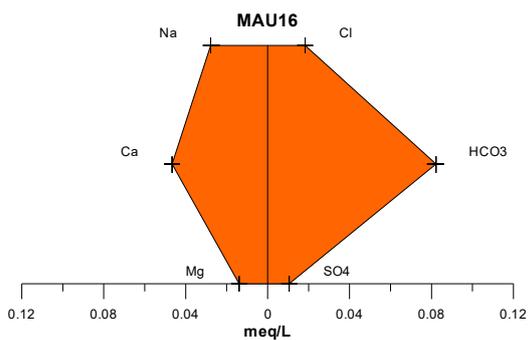


Figura 3.31d – Água bicarbonatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão.

Aquífero Alter do Chão (Água Bicarbonatada Cálcica) - outubro de 2012

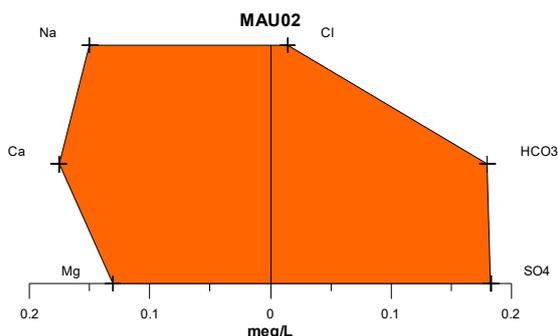


Figura 3.31e – Água sulfatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Alter do Chão.

3.7.18 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Alter do Chão Segundo o Uso

3.7.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano

A partir da análise da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão para consumo humano, avaliada por meio do Diagrama de Schoeller-Berkaloff, é possível verificar que no período chuvoso de abril de 2012 (**figura 3.32**) e no período seco (**figura 3.33**) todos os parâmetros analisados apresentaram valores abaixo do VMP, assim como, estão enquadrados na classe de boa potabilidade, com exceção do parâmetro bicarbonato na primeira coleta que apresentou a classificação passável no poço MAU05 coletado na cidade de Manaus.

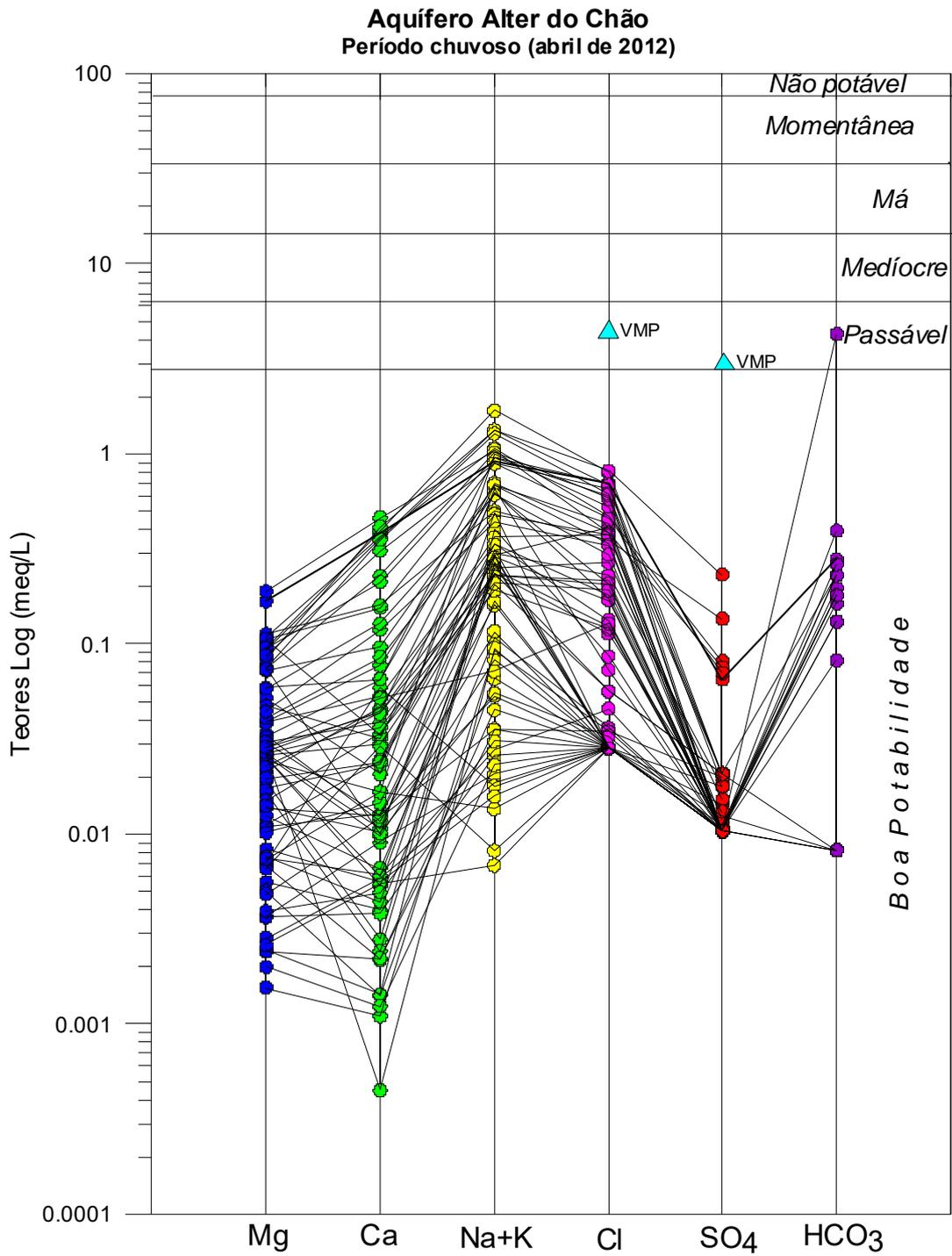


Figura 3.32 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

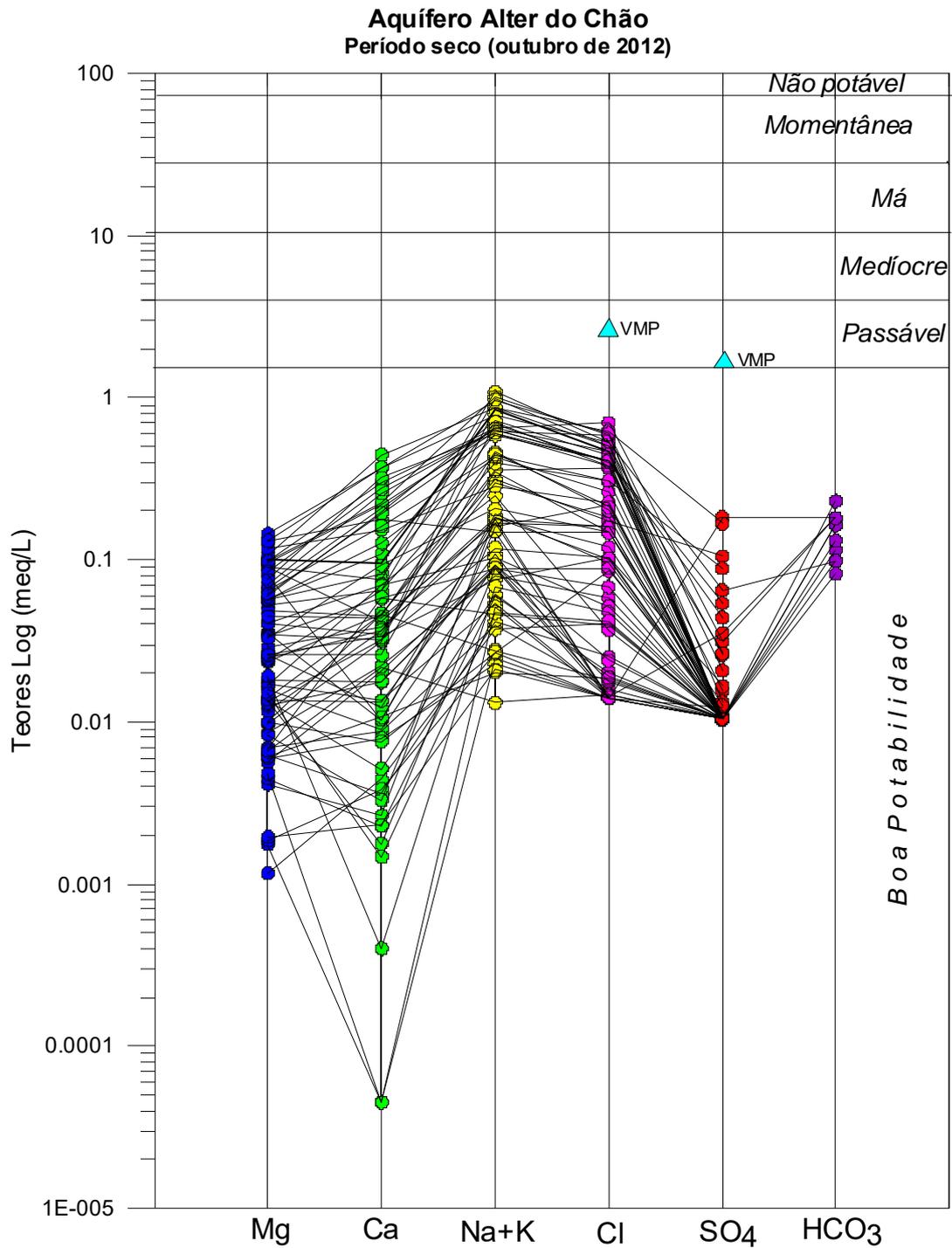


Figura 3.33 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

3.7.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação

Para a avaliação quanto ao uso na irrigação das águas do aquífero Alter do Chão foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

Período Chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que as amostras coletadas em abril de 2012 apresentaram risco de sódio baixo em 100% dos casos, ou seja, classificação S₁, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais, como pode ser observado na **figura 3.34**.

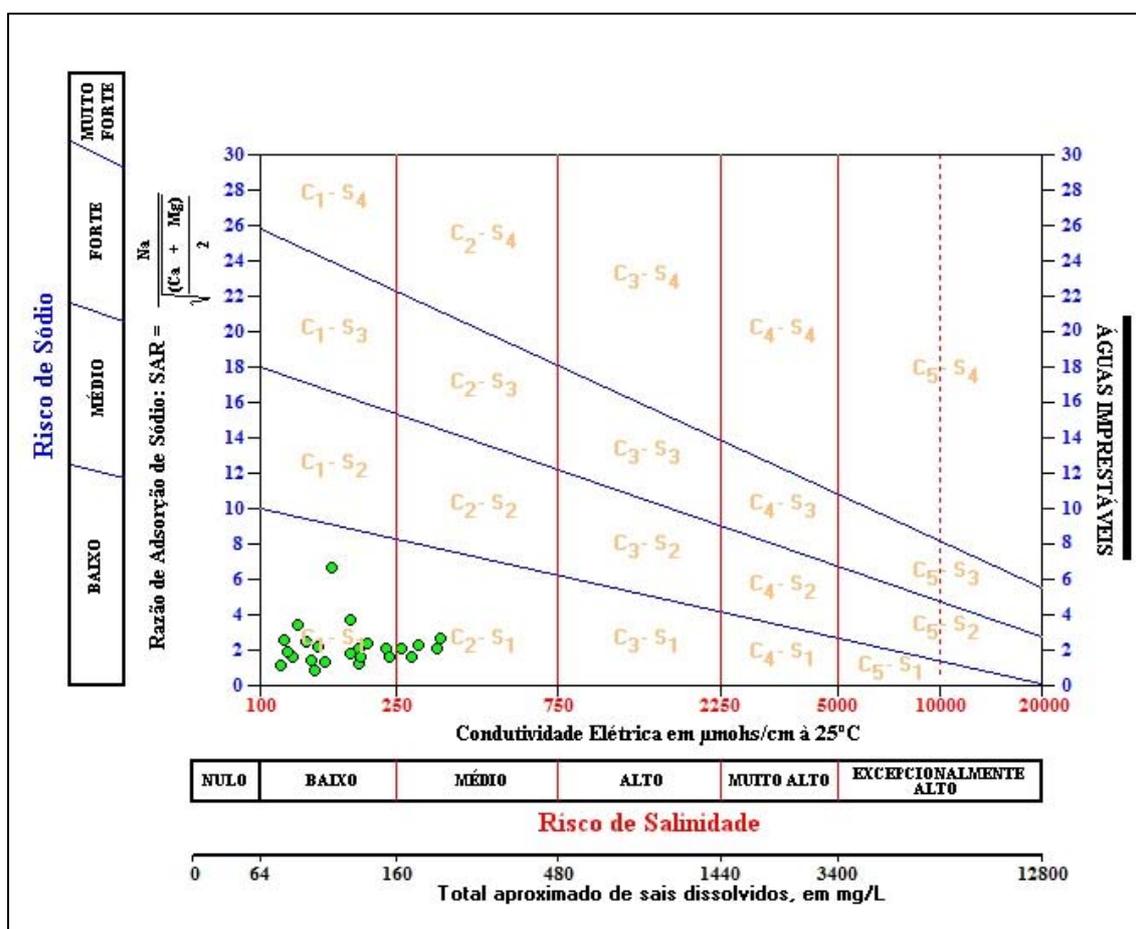


Figura 3.34 – Classificação das águas do aquífero Alter do Chão para fins de irrigação – abril de 2012.

Quanto à salinidade, as amostras de abril de 2012 apresentaram em 65,7% (46/70) dos casos a classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; enquanto que 27,1% (19/70) dos casos, classificação C₁, indicativa de que são águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca. Os 7,1% (5/70) restantes,

apresentaram classificação C₂, ou seja, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo (figura 3.34).

Período de Estiagem

Os resultados das amostras coletadas em outubro de 2012 revelaram que em 100% dos casos as águas apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S₁, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais, como indica a figura 3.35.

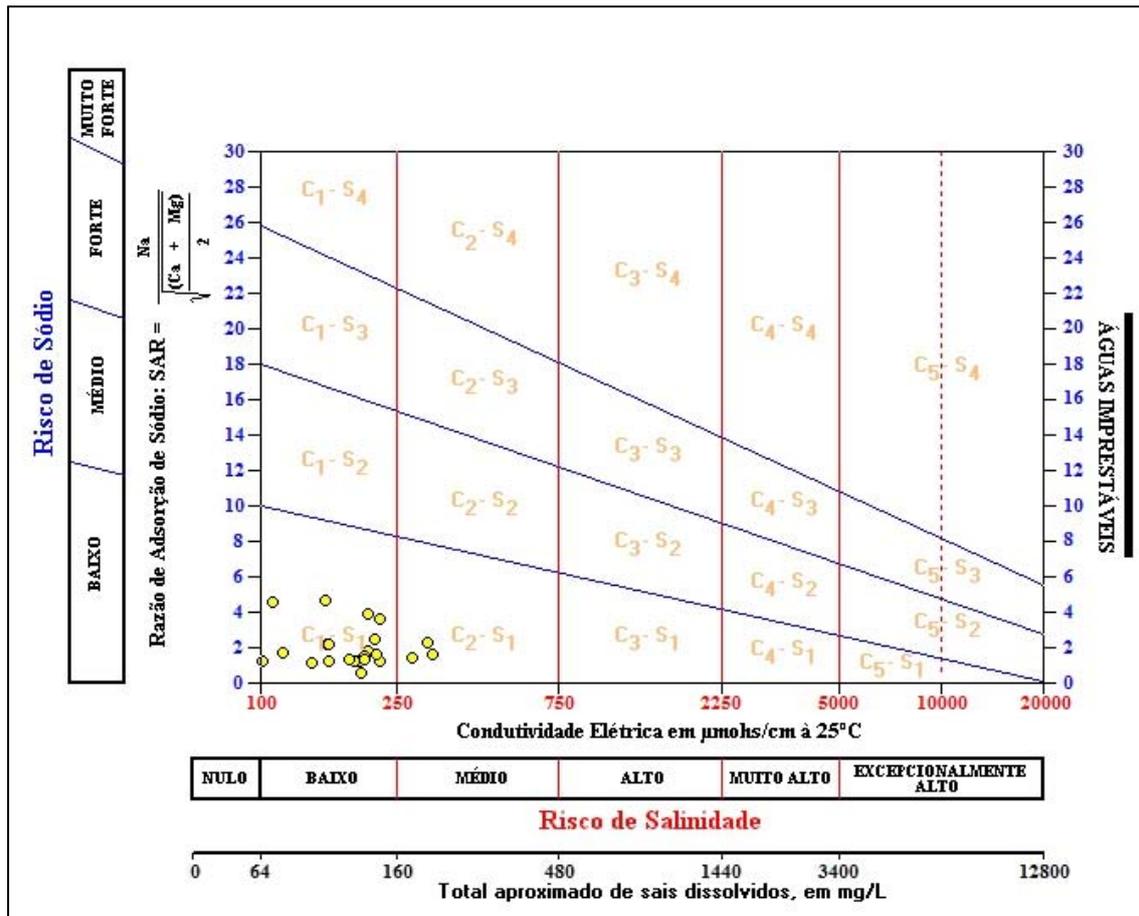


Figura 3.35 – Classificação das águas do aquífero Alter do Chão para fins de irrigação – outubro de 2012.

Com relação à salinidade, as amostras de outubro de 2012 apresentaram em 67,1% (47/70) dos casos a classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; 28,6% (20/70) dos casos a classificação C₁, ou seja, águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas; e em 4,3% (3/70) dos casos a classificação C₂, que significa águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo.

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram águas propícias para fins de irrigação, o que pode representar uma alternativa local de fonte de renda (**tabela 3.55**).

Tabela 3.55 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.

Período chuvoso (abril de 2012)				Período seco (outubro de 2012)			
Poço	Classe USSL	Risco		Poço	Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio			Salinidade	Sódio
ALM01	C1-S1	Baixo	Baixo	ALM01	C1-S1	Baixo	Baixo
ALM02	C1-S1	Baixo	Baixo	ALM02	C1-S1	Baixo	Baixo
ALM03	C1-S1	Baixo	Baixo	ALM03	C1-S1	Baixo	Baixo
ALM04	C0-S1	Nulo	Baixo	ALM04	C1-S1	Baixo	Baixo
ALM05	C1-S1	Baixo	Baixo	ALM05	C1-S1	Baixo	Baixo
MAU01	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU01	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU02	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU02	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU03	C1-S1	Baixo	Baixo	MAU03	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU04	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU04	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU05	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU05	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU06	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU06	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU07	C1-S1	Baixo	Baixo	MAU07	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU08	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU08	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU09	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU09	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU10	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU10	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU11	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU11	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU12	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU12	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU13	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU13	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU14	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU14	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU15	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU15	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU16	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU16	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU17	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU17	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU18	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU18	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU19	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU19	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU20	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU20	C1-S1	Baixo	Baixo
MAU21	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU21	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU22	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU22	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU23	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU23	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU24	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU24	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU25	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU25	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU26	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU26	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU27	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU27	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU28	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU28	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU29	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU29	C0-S1	Nulo	Baixo
MAU30	C0-S1	Nulo	Baixo	MAU30	C0-S1	Nulo	Baixo
PIN31	C0-S1	Nulo	Baixo	PIN31	C0-S1	Nulo	Baixo
PIN32	C0-S1	Nulo	Baixo	PIN32	C1-S1	Baixo	Baixo
PIN33	C0-S1	Nulo	Baixo	PIN33	C0-S1	Nulo	Baixo
PIN34	C0-S1	Nulo	Baixo	PIN34	C0-S1	Nulo	Baixo
PIN35	C1-S1	Baixo	Baixo	PIN35	C1-S1	Baixo	Baixo
STM01	C2-S1	Médio	Baixo	STM01	C2-S1	Médio	Baixo
STM02	C1-S1	Baixo	Baixo	STM02	C1-S1	Baixo	Baixo

Tabela 3.55 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL (Continuação).

Período chuvoso (abril de 2012)				Período seco (outubro de 2012)			
Poço	Classe USSL	Risco		Poço	Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio			Salinidade	Sódio
STM03	C2-S1	Médio	Baixo	STM04	C1-S1	Baixo	Baixo
STM04	C1-S1	Baixo	Baixo	STM05	C1-S1	Baixo	Baixo
STM05	C1-S1	Baixo	Baixo	STM06	C0-S1	Nulo	Baixo
STM06	C0-S1	Nulo	Baixo	STM07	C1-S1	Baixo	Baixo
STM07	C1-S1	Baixo	Baixo	STM10	C0-S1	Nulo	Baixo
STM08	C2-S1	Médio	Baixo	STM12	C0-S1	Nulo	Baixo
STM09	C1-S1	Baixo	Baixo	STM13	C0-S1	Nulo	Baixo
STM10	C0-S1	Nulo	Baixo	STM14	C0-S1	Nulo	Baixo
STM11	C1-S1	Baixo	Baixo	STM15	C0-S1	Nulo	Baixo
STM12	C0-S1	Nulo	Baixo	STM17	C1-S1	Baixo	Baixo
STM13	C0-S1	Nulo	Baixo	STM19	C0-S1	Nulo	Baixo
STM14	C0-S1	Nulo	Baixo	STM20	C0-S1	Nulo	Baixo
STM15	C0-S1	Nulo	Baixo	STM21	C0-S1	Nulo	Baixo
STM16	C0-S1	Nulo	Baixo	STM22	C1-S1	Baixo	Baixo
STM17	C2-S1	Médio	Baixo	STM23	C1-S1	Baixo	Baixo
STM18	C1-S1	Baixo	Baixo	STM24	C0-S1	Nulo	Baixo
STM19	C0-S1	Nulo	Baixo	STM25	C1-S1	Baixo	Baixo
STM20	C1-S1	Baixo	Baixo	STM26	C2-S1	Médio	Baixo
STM21	C0-S1	Nulo	Baixo	STM27	C1-S1	Baixo	Baixo
STM22	C1-S1	Baixo	Baixo	STM28	C1-S1	Baixo	Baixo
STM23	C0-S1	Nulo	Baixo	STM30	C0-S1	Nulo	Baixo
STM24	C0-S1	Nulo	Baixo	STM31	C1-S1	Baixo	Baixo
STM25	C1-S1	Baixo	Baixo	STM35	C0-S1	Nulo	Baixo
STM26	C2-S1	Médio	Baixo	STM36	C0-S1	Nulo	Baixo
STM27	C1-S1	Baixo	Baixo	STM37	C0-S1	Nulo	Baixo
STM28	C0-S1	Nulo	Baixo	STM38	C0-S1	Nulo	Baixo
STM29	C1-S1	Baixo	Baixo	STM39	C2-S1	Médio	Baixo
STM30	C0-S1	Nulo	Baixo	STM40	C1-S1	Baixo	Baixo

Legenda:

Poços destacados em vermelho possuem salinidade média, de acordo com a classificação do USSL.

3.7.18.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas nos 70 (setenta) poços distribuídos no aquífero Alter do Chão nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 3.56**.

Tabela 3.56 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima, é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 241 e 228 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

3.7.19 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Alter do Chão

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Alter do Chão indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, e que alguns poucos valores extremos encontrados, inclusive acima do VMP estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011, assim como, os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, se devem em grande parte a fatores antrópicos, excetuando-se os parâmetros ferro e manganês que se devem a condição geológica local.

Em vários parâmetros físico-químicos a modelagem geoestatística apresentou um viés estatístico que não permitiu avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade. Sendo assim, nesses casos foram utilizados os dados de média, mediana e valores máximos para avaliar a influência da sazonalidade, como por exemplo, os parâmetros pH *in situ*, potássio, cálcio, nitrito, amônia e manganês.

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos coletados em duas campanhas de amostragem, realizadas em abril e outubro de 2012, revelou efeito de sazonalidade sobre alguns parâmetros, tais como, turbidez, CE, STD, cloreto e bicarbonato, cujos teores foram mais elevados no período chuvoso; enquanto que Eh, sódio, dureza, nitrato e ferro foram maiores no período de estiagem.

A análise estatística também revelou que alguns parâmetros não possuem influência da sazonalidade, ou seja, nas duas campanhas de amostragem os resultados se mostraram muito próximos, a exemplo, da temperatura, magnésio e sulfato.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença tanto de Coliformes totais, quanto de *E. Coli*, em ambas as campanhas, o que corresponde à contaminação das águas subterrâneas devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares, em sua maioria, são pouco profundos e construídos com técnicas

inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção sanitária. A ocorrência desses parâmetros biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica na população destas localidades que utiliza dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Os teores de ferro dissolvidos nas águas do aquífero Alter do Chão são mais baixos quando comparados a outros aquíferos inseridos na Província Hidrogeológica Amazonas, o que reflete a elevada taxa de circulação (renovação) da água subterrânea no sistema hidrológico dessa formação. Contudo, a presença de altos teores em alguns pontos isolados se devem provavelmente a reações de oxidação-redução, atuantes sobre o ferro insolúvel residual do intemperismo químico regional resultante da alta pluviosidade associada a elevadas temperaturas e acidez das águas, as quais favoreceram a decomposição das rochas ao longo do tempo geológico.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que em ambos os períodos as águas subterrâneas do Aquífero Alter do Chão se caracterizam como ácidas, mas com uma leve tendência de aumento de pH no período chuvoso, ao que tudo indica como resultado da presença do gás carbônico, que predomina na forma hidratada como espécie dissolvida na água da chuva em relação ao ácido carbônico.

Todas as amostras analisadas para os metais pesados: arsênio, cádmio, cromo e níquel apresentaram teores abaixo do limite de detecção, ao passo que bário, chumbo, cobre, mercúrio e zinco obtiveram teores abaixo do VMP definido pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

No que se refere às análises de BTEX e fenóis todas as amostras respeitaram os limites de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

Os resultados dos isótopos ambientais obtidos a partir das análises de Oxigênio-18 e Deutério levaram a concluir que a recarga do aquífero Alter do Chão provém de águas meteóricas, ou seja, águas de chuva com 5,72% de perda de $\delta^{18}\text{O}$ por evaporação.

Segundo as datações efetuadas com Trício, as águas do aquífero Alter do Chão têm água submoderna, com recarga anterior a 1952 e mistura de água submoderna com recarga recente.

Quanto a datação radiométrica de Carbono-14, as análises revelaram a presença de água moderna com menos de 200 anos BP e paleoáguas com idades compreendidas entre 2130 e 2700 BP, o que deve corresponder a amostras coletadas em profundidade na parte superior do aquífero regional intitulado Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB).

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas do aquífero Alter do Chão em sua maioria são Cloretadas Sódicas, segundo indicação dos diagramas de Piper e Stiff.

Nas duas campanhas de amostragem, as águas foram classificadas como de boa potabilidade de acordo com o diagrama de Schoeller-Berkaloff, com

exceção do parâmetro bicarbonato na primeira coleta, que apresentou a classificação passável no poço MAU05, na cidade de Manaus.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação, verifica-se que as águas do aquífero Alter do Chão possuem risco de sódio baixo e salinidade que varia de fraquíssima a média, indicando que as águas podem ser usadas para o cultivo de boa parte dos vegetais.

As águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixíssimos.

4 – Hidrogeoquímica do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho

4.1 - Introdução

No contexto regional, o aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho está localizado na Província Amazonas, que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003). No contexto local, o aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho está situado na Bacia do Solimões.

Os sedimentos de origem essencialmente fluvial que ocorrem sobre o embasamento cristalino na cidade de Porto Velho são coberturas sedimentares indiferenciadas de idade cenozoica, e foram designadas no âmbito desse estudo como *Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho* para o aquífero captado na zona urbana de Porto Velho, ao invés da denominação mais conhecida, ou seja, Aquífero Jaciparaná, que se considera regionalmente do tipo livre e que pode apresentar localmente condições de fraco confinamento.

De acordo com Campos (1998), os sedimentos aluviais na zona urbana de Porto Velho mostram interdigitações de termos mais argilosos com termos mais arenosos.

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses, que ocorreu na cidade de Porto Velho, no Estado de Rondônia.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 12.8**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

Laboratório da Bioagri Ambiental:

- 30 (trinta) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, Eh, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrogênio (amoniaco, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (E. Coli). Devido a problemas de acesso local e falta de permissão de alguns proprietários não foi possível efetuar a coleta de amostragem nos mesmos 30 (trinta) poços da primeira campanha, havendo a seleção de 11 (onze) poços distintos na segunda campanha de amostragem (PVH 31 a 41);
- 11 (onze) Análises de Metais Pesados - arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco, nos poços: PVH 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 31, 33, 36 e 41;

- 11 (onze) Análises de BTEX e Fenóis - benzeno, tolueno, etilbenzeno, o-Xileno e m,p-Xileno e índice de fenóis, nos poços: PVH 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 31, 33, 36 e 41.

Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:

- 04 (quatro) Análises de Isótopo Ambiental Estável - deutério e oxigênio-18, nos poços: PVH 13, 24, 35 e 39.

Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:

- 07 (sete) Análises do Isótopo Ambiental Radioativo - trício, nos poços: PVH 5, 6, 13, 24, 33, 35 e 39.

Laboratório Beta Analytic, da Flórida - USA:

- 01 (uma) Análise do Isótopo Ambiental - carbono 14, no poço: PVH36.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 12.2**.

4.2 – Influência Antrópica e Sazonal na Qualidade das Águas Subterrâneas e Influência Sazonal na Qualidade das Águas Superficiais no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho

Águas Subterrâneas – efeito sazonal e antrópico

A modelagem geoestatística dos 20 (vinte) parâmetros físico-químicos analisados nas águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, permitiu comprovar sem nenhum viés a influência da sazonalidade em 45% (9/20) dos referidos parâmetros, com níveis de risco iguais a 0,50; 0,20; 0,10; 0,05; 0,02 e 0,01, para os quais foram caracterizados com maiores valores:

- ✓ No período chuvoso, 5 (cinco) parâmetros: pH, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻, Dureza;
- ✓ No período seco, 4 (quatro) parâmetros: Temperatura, Eh, HCO₃⁻, Fe.

Nos 55% (11/20) restantes, a resposta do modelo é ambígua, ou seja, pode ser tomada em mais de um sentido, como por exemplo:

- Cor e NO₂⁻, com 50% de risco, maiores valores no período seco e com riscos de 20, 10, 5, 2 e 1%, maiores valores no período chuvoso;
- STD, SO₄, e Mn, com 50% de risco, maiores valores no período chuvoso e com riscos de 20, 10, 5, 2 e 1%, maiores valores no período seco;
- Turbidez: o modelo sugere com 50, 20, 10, 5 e 2% de risco maiores valores no período chuvoso e com risco de 1% não há diferença entre os períodos de coleta;
- Na: com riscos de 50, 20, 10 e 5% de risco, o modelo sugere maiores valores no período chuvoso, enquanto que nos riscos de 2 e 1% os maiores valores ocorrem no período seco;

- Mg: a modelagem sugere que nos riscos de 50, 20, 10, 5 e 2% de risco os maiores valores ocorrem no período chuvoso e com risco de 1% o período seco apresenta maior valor.
- CE, com 50 e 20% de risco, maior valor no período chuvoso e com riscos de 10, 5, 2 e 1%, maior valor no período seco;
- NH_3^- , com 50 e 20% de risco, maior valor no período seco e com riscos de 10, 5, 2 e 1%, maior valor no período chuvoso.
- NO_3^- : o modelo sugere com 50, 20 e 10% de risco, maior valor no período chuvoso e com riscos de 5, 2 e 1% maior valor no período seco.

Como se observa, existe um bias no comportamento estatístico dos parâmetros cor, nitrito, sólidos totais dissolvidos, sulfato, manganês, turbidez, sódio, magnésio, condutividade elétrica, amônia e nitrato. No aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, assim como em toda a região amazônica, as águas subterrâneas, em geral, são bastante diluídas, devido ao clima chuvoso da região amazônica. Há, no entanto, em alguns dos parâmetros com bias (ex., cor e nitrito), apenas um pequeno percentual de valores pontuais acima do LD, enquanto a grande maioria dos valores (de 87 a 100%) fica abaixo do LD nas duas campanhas, sugerindo independência da sazonalidade. Admite-se, de modo geral, que o bias estatístico provavelmente reflete influências sazonais e antrópicas. Na **tabela 4.1** são mostrados os 3 (três) valores mais altos dos parâmetros com bias, assim como os poços onde eles foram dosados, nas duas campanhas de coleta.

Para cor e nitrito, na primeira campanha, no período chuvoso de 2012, todos os valores ficaram abaixo do LD. No período seco, em outubro de 2012, somente 10% (3/30) dos valores de cor e 13% dos valores de nitrito foram quantificáveis. Admite-se, neste caso, que tais valores resultaram de influências antrópicas e que o padrão dominante dos valores sugere não haver efeito de sazonalidade.

Para sólidos totais dissolvidos, sulfato, manganês e condutividade elétrica, de acordo com os resultados do modelo, existe influência da sazonalidade caracterizada por maiores valores no período seco, com riscos inferiores a 5%, valendo notar que o bias estatístico indica o período chuvoso com risco de 50%.

Para amônia, o bias estatístico sugere com riscos inferiores a 5%, maiores concentrações no período chuvoso. Os valores quantificáveis representam 3% (1/30) no período chuvoso e 17% (5/30) no período seco. Como não foi possível detectar a presença de amônia na grande maioria das águas coletadas, já que 97% na primeira campanha e 83% na segunda campanha ficaram abaixo do LD, os valores quantificáveis provavelmente resultam de influências antrópicas e não da sazonalidade.

Para o nitrato, ao contrário da amônia, o bias estatístico sugere com riscos inferiores a 5%, maiores concentrações no período seco. Os valores quantificáveis representam 80% (24/30) no período chuvoso e 80% (24/30) no período seco. Portanto, tais valores provavelmente são condicionados tanto pela sazonalidade quanto por influências antrópicas.

Tabela 4.1 – Os três valores mais altos dos parâmetros com bias nas amostras de água subterrânea analisadas nas duas campanhas de amostragem no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

Cor (Pt/Co)				NO ₂ (mg/L)			
Abril de 2012		Outubro de 2012		Abril de 2012		Outubro de 2012	
PVH11	<5	PVH11	6	PVH12	<0,02	PVH12	0,077
-	<5	PVH35	7	PVH33	<0,02	PVH33	0,025
PVH24	<5	PVH24	24	PVH41	<0,02	PVH41	0,085
STD (mg/L)				SO ₄ (mg/L)			
Abril de 2012		Outubro de 2012		Abril de 2012		Outubro de 2012	
PVH22	127	PVH38	65	PVH15	8,48	PVH32	1,13
PVH10	225	PVH18	77	PVH10	12,34	PVH10	1,47
PVH17	246	PVH22	125	PVH17	16,06	PVH38	2,03
Mn (mg/L)				C.E. (µS/cm)			
Abril de 2012		Outubro de 2012		Abril de 2012		Outubro de 2012	
PVH04	0,08	PVH30	0,05	PVH12	<0,02	PVH12	0,077
PVH03	0,14	PVH39	0,05	PVH33	<0,02	PVH33	0,025
PVH17	0,48	PVH22	0,08	PVH41	<0,02	PVH41	0,085
NH ₃ (mg/L)				NO ₃ (mg/L)			
Abril de 2012		Outubro de 2012		Abril de 2012		Outubro de 2012	
PVH10	<0,1	PVH10	0,4	PVH18	9,55	PVH34	1,73
PVH09	<0,1	PVH09	0,5	PVH22	10,02	PVH18	6,11
PVH17	1,5	PVH38	2	PVH28	11,08	PVH22	12,58

Águas Superficiais – efeito sazonal

No que se refere às águas superficiais, de acordo com as conclusões do relatório de monitoramento limnológico da Ecology Brasil (2011) realizado no âmbito do Projeto Usina Hidroelétrica de Santo Antonio no rio Madeira, “as oscilações naturais bruscas na cota do rio Madeira exercem forte influência sobre a condutividade elétrica, turbidez e sólidos dissolvidos, que apresentaram picos de variação relacionados aos períodos hidrológicos nas mesmas ocasiões dos pulsos de inundação do rio Madeira”. Na verdade, não são bruscas as oscilações naturais, mas cíclicas ou sazonais, como mostra a **figura 4.1**.

Neste sentido, usando dados do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA Hidroweb, investigou-se a variação média mensal do nível de água do Rio Madeira na região do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (posto fluviométrico 15400000) no período de janeiro de 1968 a dezembro de 2013. Para esse longo período de 46 anos, nota-se que os níveis mais altos do rio ocorrem nos meses de março-abril, enquanto os níveis mais baixos ocorrem nos meses de setembro-outubro.

Rio Madeira em Porto Velho - RO: Posto 15400000

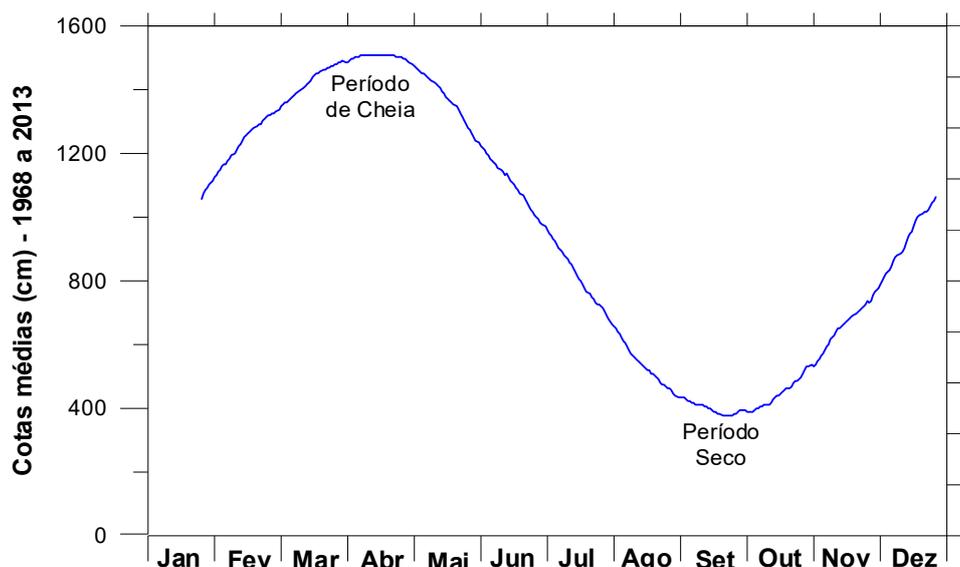


Figura 4.1 – Variação dos níveis de água do Rio Madeira na região do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (posto fluviométrico 15400000) mostrando os períodos de cheia com altas águas em março-abril e os períodos de estiagem, com baixas águas em setembro-outubro (ANA, 2013).

Bernardi *et al.* (2009) verificaram a ocorrência no Alto Rio Madeira e afluentes, de variações sazonais nos valores de pH, temperatura da água e condutividade elétrica (**tabela 4.2**). Os dados apresentados na **tabela 4.2**, avaliados com a modelagem geoestatística aplicada aos dados obtidos no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no âmbito do projeto ANA-PHA, são mostrados na **tabela 4.3** para o pH, na **tabela 4.4** para a temperatura e na **tabela 4.5** para a condutividade elétrica.

Tabela 4.2 – Variáveis físico-químicas do Rio Madeira para os períodos hidrológicos de seca e cheia, segundo Bernardi *et al.* (2009).

Parâmetro	Unidade	Período	
		Cheia	Seca
pH	-	6,5 ± 0,1	7,2 ± 0,3
Sólidos em Suspensão	mg/L	524 ± 129	331 ± 62
Temperatura do Ar	°C	28,4 ± 1,8	31,2 ± 2,9
Temperatura da Água	°C	28,0 ± 1,0	29,5 ± 0,6
Condutividade Elétrica	µS/cm	71,8 ± 2,4	95,7 ± 1,9
Oxigênio Dissolvido	mg/L	5,1 ± 0,6	7,0 ± 0,3
Saturação do Oxigênio Dissolvido	%	66 ± 8	96 ± 2
Número de indivíduos das amostras	n	36	33

Média e Desvio Padrão (524 ± 129)

Tabela 4.3 – Distribuição de probabilidade do pH da água do rio Madeira no período chuvoso (pH-1) - fevereiro de 2004 e no período seco (pH-2) – novembro de 2003, em Porto Velho. (Dados de Bernardi *et al.*, 2009).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
pH-1	6,6	6,5	6,5	6,4	6,4	6,4
pH-2	7,2	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5
Razão	0,92	0,94	0,96	0,96	0,97	0,98

Tabela 4.4 – Distribuição de probabilidade da temperatura da água do rio Madeira T(°C) no período chuvoso (T-1) - fevereiro de 2004 e no período seco (T-2) - novembro de 2003, em Porto Velho. (Dados de Bernardi *et al.*, 2009).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
T-1	28,0	27,2	26,7	26,4	25,9	25,7
T-2	29,5	29,0	28,7	28,5	28,3	28,1
Razão	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91

Tabela 4.5 – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica (μS/cm) da água do rio Madeira no período chuvoso (CE-1) - fevereiro de 2004 e no período seco (CE-2) - novembro de 2003, em Porto Velho. (Dados de Bernardi *et al.*, 2009).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CE-1	71,8	69,8	68,7	67,9	66,9	66,2
CE-2	95,7	94,1	93,3	92,6	91,8	91,3
Razão	0,75	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73

Comparando os resultados acima apresentados com os obtidos no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, verifica-se que o pH apresenta comportamento oposto ao das águas superficiais, ou seja, assume os maiores valores no período chuvoso. Com relação à temperatura, a água subterrânea segue o mesmo padrão da água superficial, ou seja, maior no período de estiagem. A condutividade elétrica das águas subterrâneas, com menos de 5% de risco, também é maior no período seco, e nesse sentido coincide com o comportamento das águas do rio Madeira.

Tais resultados são coerentes, pois segundo Leprun *et al.* (1989), os teores de cálcio, magnésio, potássio, sódio e sílica presentes nas águas de percolação se devem essencialmente ao tipo de solo e não à chuva. Além disso, os fracos teores de cloreto e sódio na água de escoamento superficial procedem diretamente da chuva e, portanto, sem contato com o solo quimicamente rico, pois as chuvas de Rondônia são oriundas de reciclagem da água de evaporação na região. Isto significa que os solos de Rondônia possuem um complexo sortivo bem dotado, ou seja, são mais ricos quimicamente quando comparados à água da chuva. Por esta razão liberam mais facilmente os cátions na água segundo a sua ordem de mobilidade. Sendo assim, são os

solos mais ricos provenientes das rochas cristalinas os menos intemperizados que vão dar a maior quantidade de cátions nas águas.

4.3 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho foram submetidos a avaliações, pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que no período chuvoso (abril de 2012), 27% (8/30) das amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, apresentaram Ep dentro dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1. Enquanto que 37% (11/30) das amostras obtiveram Ep inferior a 15%, sendo as análises consideradas corretas apenas segundo a metodologia nº 2.

Pelo método nº 1, 73% (22/30) das amostras, e pelo método nº 2, 63% (19/30) das amostras, apresentam Ep superiores aos limites definidos, não sendo considerados válidos em ambos os balanços iônicos (**tabela 4.6**).

Tabela 4.6 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – abril de 2012.

Poço	CE (µS/cm)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - Ep (%)	
				Balanço Iônico nº1	Balanço Iônico nº2
PVH01	75,00	0,53	0,56	5,02	2,51
PVH02	62,00	0,43	0,56	26,17	13,08
PVH03	35,00	0,29	0,26	8,03	4,02
PVH04	68,00	0,55	0,39	34,08	17,04
PVH05	45,00	0,29	0,22	25,04	12,52
PVH06	13,00	0,07	0,12	48,61	24,31
PVH07	59,00	0,47	0,35	30,03	15,02
PVH08	17,00	0,15	0,20	32,81	16,40
PVH09	57,00	0,37	0,36	2,65	1,33
PVH10	326,00	1,36	1,08	22,59	11,29
PVH11	66,00	0,57	0,47	19,51	9,75
PVH12	21,00	0,21	0,12	50,10	25,05
PVH13	9,20	0,05	0,04	17,61	8,80
PVH14	21,00	0,11	0,04	88,89	44,45
PVH15	77,00	0,58	1,33	78,31	39,16
PVH16	78,00	0,64	0,49	25,81	12,91
PVH17	369,00	3,54	3,25	8,64	4,32
PVH18	140,00	0,94	0,35	91,63	45,82
PVH19	21,00	0,16	0,19	17,34	8,67
PVH20	21,00	0,14	0,06	84,40	42,20

Tabela 4.6 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – abril de 2012 (Continuação).

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - Ep (%)	
				Balanço Iônico nº1	Balanço Iônico nº2
PVH21	98,00	0,46	0,24	63,43	31,71
PVH22	193,00	1,07	0,59	57,55	28,78
PVH23	103,50	0,56	0,44	22,86	11,43
PVH24	14,00	0,04	0,32	158,24	79,12
PVH25	23,00	0,22	0,04	140,98	70,49
PVH26	80,00	0,42	0,20	72,14	36,07
PVH27	70,00	0,48	0,35	30,62	15,31
PVH28	144,00	1,11	0,33	108,62	54,31
PVH29	8,90	0,05	0,14	93,69	46,85
PVH30	21,00	0,10	0,17	50,63	25,31

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se que 13% (4/30) das amostras obtiveram resultados dentro dos padrões de Ep consideradas como apropriadas na metodologia nº 1 de balanço iônico. Contudo, apenas 30% (9/30) das amostras ficaram abaixo do limite de erro permitido pela metodologia nº 2. Cerca de 70% (21/30) das amostras não foram consideradas corretas, haja vista que apresentaram Ep fora dos limites permissíveis estabelecidos nos dois balanços iônicos, como demonstra a **tabela 4.7**.

Tabela 4.7 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – outubro de 2012.

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - Ep (%)	
				Balanço Iônico nº1	Balanço Iônico nº2
PVH03	16,00	0,12	0,03	130,34	65,17
PVH04	58,00	0,43	0,23	60,09	30,05
PVH05	55,00	0,21	0,31	41,00	20,50
PVH06	25,00	0,09	0,03	100,56	50,28
PVH08	43,00	0,34	0,23	38,21	19,11
PVH09	66,00	0,26	0,35	29,19	14,60
PVH10	59,00	0,36	0,45	23,08	11,54
PVH11	56,00	0,45	0,46	1,51	0,75

Tabela 4.7 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – outubro de 2012 (Continuação).

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - Ep (%)	
				Balanço Iônico nº1	Balanço Iônico nº2
PVH12	21,00	0,16	0,25	46,40	23,20
PVH13	20,00	0,09	0,02	116,40	58,20
PVH14	24,00	0,14	0,04	117,51	58,76
PVH15	53,00	0,39	0,39	0,86	0,43
PVH16	38,00	0,10	0,22	71,58	35,79
PVH18	102,00	0,66	0,27	82,15	41,08
PVH20	28,00	0,19	0,13	36,08	18,04
PVH21	18,00	0,08	0,04	69,30	34,65
PVH22	214,00	1,73	1,00	53,61	26,80
PVH24	24,00	0,21	0,27	25,04	12,52
PVH30	28,00	0,24	0,12	63,23	31,62
PVH31	14,00	0,09	0,04	82,31	41,16
PVH32	86,00	0,55	0,43	23,40	11,70
PVH33	58,00	0,43	0,23	60,09	30,05
PVH34	67,00	0,40	0,32	22,36	11,18
PVH35	18,00	0,04	0,03	24,47	12,23
PVH36	15,00	0,01	0,02	80,12	40,06
PVH37	45,00	0,24	0,34	35,10	17,55
PVH38	107,00	0,68	0,89	26,67	13,34
PVH39	54,00	0,28	0,22	22,25	11,13
PVH40	11,00	0,08	0,02	106,03	53,02
PVH41	38,00	0,21	0,10	73,68	36,84

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de Ep superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (Ep %), sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). As águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que os teores de STD alcançam no máximo 246 mg/L no período chuvoso e 125 mg/L no período de estiagem, quando o VMP desse parâmetro, para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, é de 1.000 mg/L.

Convém destacar ainda que as concentrações de STD, assim como, dos íons sódio (Na^+), Cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou $\mu\text{g}/\text{L}$. Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de

deteção, indicados, por exemplo, como (<1) foram considerados no cálculo do erro, como 1 µg/L (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para mg/L (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados não comprometem os resultados analíticos obtidos.

4.4 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho foi estimado, conforme metodologia descrita no item 1.8.

De acordo com os resultados de ITB calculados verifica-se que apenas 17% (5/30) das amostras forneceram valores positivos, indicando o predomínio de cátions nas águas que ali circulam, enquanto que 83% (25/30) apresentaram valores negativos na coleta de abril de 2012 (**tabela 4.8 e figura 4.2**). Isto revela maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que sugere o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ por Na⁺.

Tabela 4.8 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas.

Abril de 2012		Outubro de 2012	
Poço	ITB	Poço	ITB
PVH01	-0,17	PVH03	-2,36
PVH02	-0,05	PVH04	-0,74
PVH03	-0,63	PVH05	0,36
PVH04	-0,50	PVH06	-2,72
PVH05	-0,92	PVH08	-0,44
PVH06	-0,71	PVH09	0,28
PVH07	-0,37	PVH10	-0,87
PVH08	-0,52	PVH11	-5,43
PVH09	0,13	PVH12	-4,38
PVH10	-0,31	PVH13	-2,06
PVH11	-5,44	PVH14	-3,73
PVH12	-3,35	PVH15	-0,06
PVH13	0,09	PVH16	0,54
PVH14	-1,87	PVH18	-0,79
PVH15	-0,54	PVH20	-0,28
PVH16	-0,14	PVH21	-0,71
PVH17	0,13	PVH22	-0,53
PVH18	-0,96	PVH24	-3,22
PVH19	-1,72	PVH30	-4,77
PVH20	-2,23	PVH31	-1,50

Tabela 4.8 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas (Continuação).

Abril de 2012		Outubro de 2012	
Poço	ITB	Poço	ITB
PVH21	-0,64	PVH32	-0,15
PVH22	-0,42	PVH33	-0,74
PVH23	-0,44	PVH34	-0,07
PVH24	0,54	PVH35	0,13
PVH25	-0,01	PVH36	0,40
PVH26	-0,67	PVH37	-0,15
PVH27	-0,43	PVH38	-0,08
PVH28	-3,46	PVH39	-2,06
PVH29	0,17	PVH40	-0,24
PVH30	-0,88	PVH41	-0,60

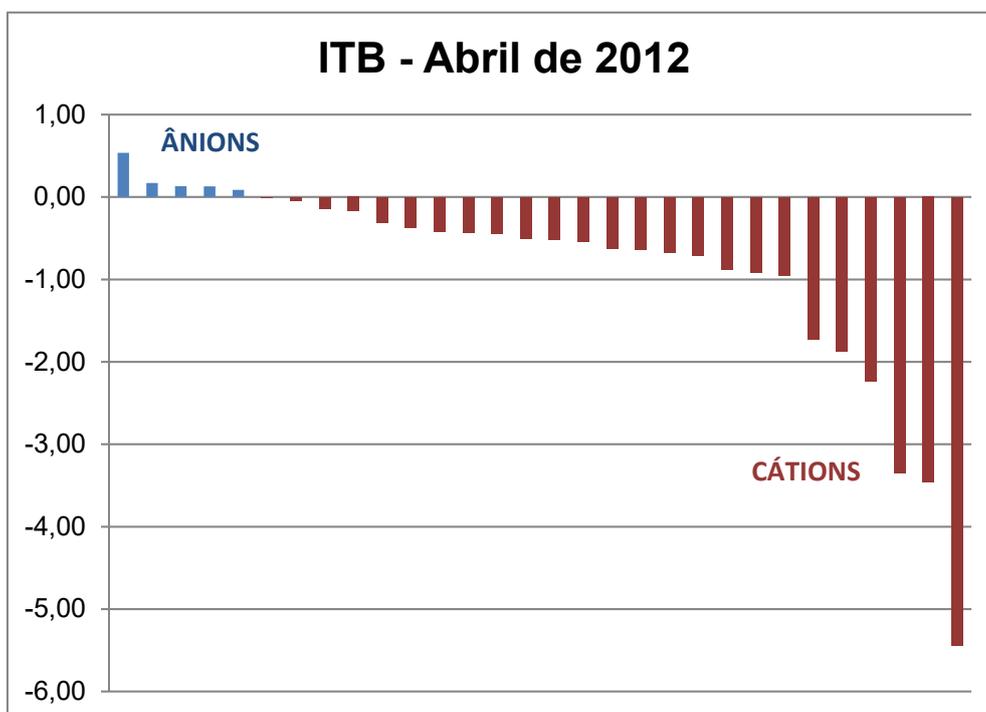


Figura 4.2 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.

Na coleta de outubro de 2012, 17% (5/30) das amostras apresentaram valores positivos, ao passo que 83% (25/30) obtiveram resultados negativos, como pode ser visualizado na **tabela 4.8**. Tais resultados refletem a maior presença de cátions nas águas (**figura 4.3**).

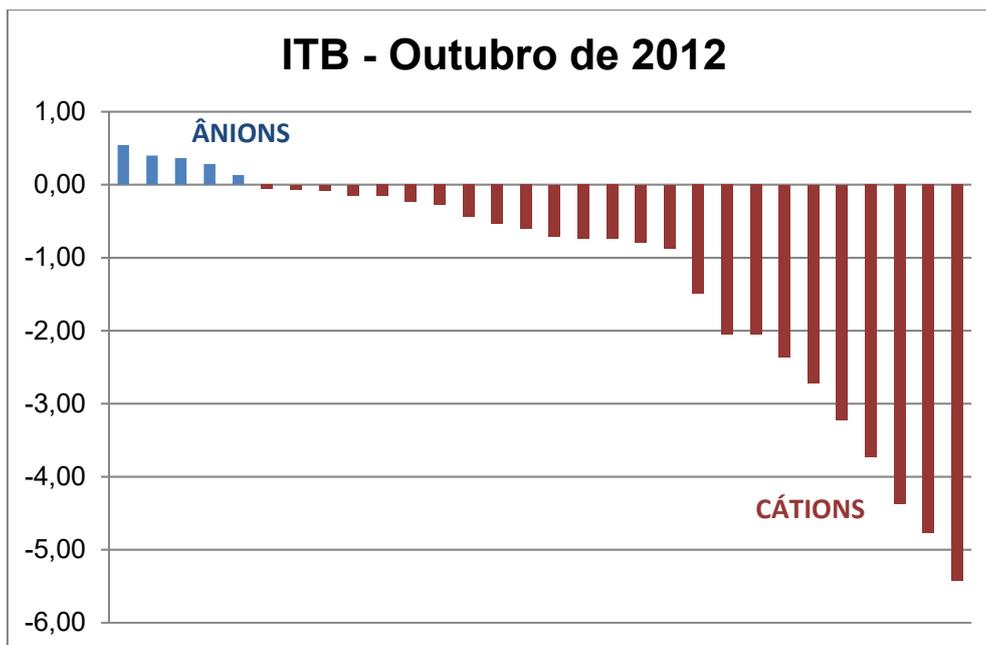


Figura 4.3 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.

Os valores de ITB obtidos nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas estão coerentes, pois segundo Teixeira (2002), o enriquecimento em alcalinos aumenta a diferença $Cl - (Na + K)$, numerador na equação de Schoeller (1962), o que torna mais negativos os valores de ITB.

Na **tabela 4.9** é apresentada a estatística descritiva dos resultados de ITB calculados, onde se verifica que os valores mínimo e máximo obtidos foram de -5,44 e 0,54; -5,43 e 0,54 para as coletas de abril e outubro de 2012, respectivamente.

Tabela 4.9 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas.

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Média	-0,88	-1,23
Erro padrão	0,23	0,30
Mediana	-0,51	-0,66
Desvio padrão	1,28	1,65
Variância da amostra	1,64	2,71
Curtose	5,07	0,54
Assimetria	-2,15	-1,23
Intervalo	5,98	5,97

Tabela 4.9 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas (Continuação).

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Mínimo	-5,44	-5,43
Máximo	0,54	0,54
Soma	-26,33	-36,96
Contagem	30	30
Nível de confiança (95%)	0,48	0,61

Os resultados de ITB negativos obtidos em ambas as campanhas são justificáveis por conta dos elevados índices pluviométricos da região amazônica que favorecem a diluição dos compostos químicos em solução na água, o que implica no abrandamento das águas com troca de cálcio e magnésio por sódio, tanto no período chuvoso quanto na estiagem.

4.5 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas de amostragem, de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A **tabela 4.10** mostra os resultados das principais razões iônicas para as duas campanhas, realizadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

A razão rMg^{2+}/rCa^{2+} indica que apenas 3% e 10% dos poços, nas campanhas de abril e outubro de 2012, possuem águas com influência da água do mar. Tal razão também mostrou que 77% e 70% dos poços, respectivamente, para a primeira e segunda campanha, contém águas continentais que possivelmente sofrem influência de terrenos dolomíticos.

A razão rNa^+/rCl^- sugere que 90% dos poços na primeira campanha e 87% dos poços na segunda campanha, contém águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas.

A razão iônica $rCl^-/rHCO_3^-$ mostrou que 30% e 70% dos poços no período chuvoso e de estiagem, respectivamente, contém águas com ausência de íon bicarbonato.

Com base nos resultados é possível concluir que as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são continentais, e possivelmente sofreram influências de trocas iônicas com os eluvios oriundas da decomposição das rochas cristalinas regionais. De fato isso é possível, porque na região além de afloramento de rochas cristalinas há um significativo número de poços que penetram nos eluvios de rochas graníticas.

Isso não exclui a possibilidade de que os valores mais altos das razões iônicas, inclusive os anômalos, resultem de contaminação pela ausência de esgotamento sanitário e podem produzir desvios muito fortes nos dados.

Tabela 4.10 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas.

Período chuvoso				Período seco			
Poço	Razões Iônicas			Poço	Razões Iônicas		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$		$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
PVH01	0,19	1,11	2,86	PVH03	1,42	1,33	0,00
PVH02	0,46	1,02	2,72	PVH04	0,29	1,65	0,00
PVH03	2,26	1,43	0,72	PVH05	1,25	0,59	0,00
PVH04	4,27	1,29	2,29	PVH06	0,72	3,45	0,00
PVH05	0,19	1,82	1,69	PVH08	1,70	1,29	0,00
PVH06	55,21	0,70	0,34	PVH09	2,20	0,63	0,00
PVH07	0,09	1,16	1,57	PVH10	1,27	1,10	0,29
PVH08	1,84	1,04	0,17	PVH11	0,30	3,82	0,05
PVH09	0,27	0,80	0,00	PVH12	1,72	1,89	0,06
PVH10	0,24	1,03	0,20	PVH13	0,76	0,88	0,00
PVH11	0,25	2,27	0,07	PVH14	0,24	4,65	0,00
PVH12	1,74	1,10	0,34	PVH15	0,11	1,01	2,25
PVH13	0,80	0,22	0,00	PVH16	184,40	0,41	0,00
PVH14	0,59	2,74	0,00	PVH18	0,12	1,68	0,00
PVH15	0,13	1,42	0,26	PVH20	0,71	1,23	0,00
PVH16	0,31	1,03	0,98	PVH21	0,41	1,47	0,00
PVH17	0,93	0,82	3,44	PVH22	0,80	1,49	0,00
PVH18	0,15	1,80	0,00	PVH24	1,46	2,42	0,06
PVH19	0,99	1,60	0,18	PVH30	1,79	4,08	0,14
PVH20	0,75	2,88	0,00	PVH31	1,11	1,75	0,00
PVH21	0,75	1,53	0,00	PVH32	0,89	1,13	0,00
PVH22	0,78	1,33	0,00	PVH33	0,29	1,65	0,00
PVH23	0,75	1,35	2,09	PVH34	1,36	1,03	0,00
PVH24	0,47	0,35	0,10	PVH35	3,95	0,74	0,00
PVH25	0,08	0,88	0,00	PVH36	43,40	0,42	0,00
PVH26	0,75	1,53	0,00	PVH37	3,21	0,96	1,01
PVH27	0,28	1,35	36,11	PVH38	0,11	1,05	1,86
PVH28	0,49	4,34	2,87	PVH39	1,07	2,60	0,23
PVH29	1,19	0,33	0,29	PVH40	0,22	0,82	0,00
PVH30	1,14	1,51	0,40	PVH41	65,64	1,17	0,00

4.6 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas de amostragem, para verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS apresentada na **tabela 1.6**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso (abril de 2012) e período seco (outubro de 2012) podem ser observados na **tabela 4.11**. Todas as amostras, em ambas as coletas, apresentaram resultados de IS negativos, o que sugere que as águas não possuem características incrustantes.

Os resultados mostram que no período chuvoso o IS variou de -5,46 a -1,79 e no período seco de -8,01 a -1,90, indicando águas subsaturadas em relação à calcita e com tendência a dissolver $\text{CaCO}_{3(s)}$. Isto ocorre porque as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são ácidas, variando de 4,2 no período chuvoso a 3,06 no período de estiagem, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

Tabela 4.11 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas.

Abril de 2012		Outubro de 2012	
Poço	IS	Poço	IS
PVH01	-3,97	PVH03	-4,31
PVH02	-5,07	PVH04	-4,65
PVH03	-3,30	PVH05	-5,47
PVH04	-3,90	PVH06	-5,22
PVH05	-3,90	PVH08	-5,07
PVH06	-4,64	PVH09	-5,41
PVH07	-1,79	PVH10	-3,00
PVH08	-3,12	PVH11	-1,90
PVH09	-5,46	PVH12	-3,14
PVH10	-2,97	PVH13	-4,64
PVH11	-2,73	PVH14	-5,08
PVH12	-3,68	PVH15	-3,80
PVH13	-4,94	PVH16	-5,61
PVH14	-3,72	PVH18	-4,24
PVH15	-2,35	PVH20	-4,76
PVH16	-3,13	PVH21	-4,95
PVH17	-1,98	PVH22	-4,75
PVH18	-3,51	PVH24	-3,32
PVH19	-3,19	PVH30	-3,02
PVH20	-4,30	PVH31	-4,35
PVH21	-3,11	PVH32	-3,93
PVH22	-2,81	PVH33	-4,12
PVH23	-4,63	PVH34	-4,86
PVH24	-4,98	PVH35	-5,71
PVH25	-3,67	PVH36	-8,01
PVH26	-3,86	PVH37	-4,62

Tabela 4.11 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nas duas campanhas (Continuação).

Abril de 2012		Outubro de 2012	
Poço	IS	Poço	IS
PVH27	-4,68	PVH38	-3,21
PVH28	-3,74	PVH39	-2,93
PVH29	-4,70	PVH40	-3,88
PVH30	-4,99	PVH41	-4,05

4.7 - Correlação entre Variáveis Hidrogeológicas

Alguns parâmetros físico-químicos analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação conforme metodologia descrita no **item 1.11**, a qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação (ρ).

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos, o panorama das correlações no período chuvoso (abril de 2012), conforme **tabela 4.12**, é o seguinte:

- Metade das correlações (68/136), ou seja, 50% são Não Significativas, dos tipos, muito fracas (57/136) e fracas (11/136);
- As correlações Significativas satisfazem apenas 8,8% (12/136), das quais 6 são fracas e 6 moderadas;
- As correlações Muito Significativas correspondem a 41,2% (56/136), sendo 1 muito fraca, 26 moderadas, 21 fortes e 8 muito fortes.

Tabela 4.12 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – abril de 2012.

Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Na	K	0,4643	*
Na	Ca	0,4472	*
Na	Mg	0,7377	**
Na	Cl	0,9047	**
Na	SO ₄	0,5374	**
Na	CE	0,7634	**
Na	STD	0,7596	**
Na	pH	0,104	ns
Na	Eh	-0,0863	ns
Na	Alcalinidade	0,2433	ns
Na	NO ₂	-0,8405	**
Na	NO ₃	0,4542	*
Na	NH ₃	0,7744	**

Tabela 4.12 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – abril de 2012 (Continuação).

Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Na	Fe	0,768	**
Na	CO ₃	-0,1041	ns
Na	HCO ₃	0,2619	ns
K	Ca	0,4912	**
K	Mg	0,6104	**
K	Cl	0,518	**
K	SO ₄	0,3698	*
K	CE	0,4986	**
K	STD	0,497	**
K	pH	0,1055	ns
K	Eh	-0,0024	ns
K	Alcalinidade	0,3126	ns
K	NO ₃	0,0476	ns
K	NH ₃	0,5291	**
K	Fe	0,523	**
K	CO ₃	-0,0461	ns
K	HCO ₃	0,3726	*
Ca	Mg	0,7526	**
Ca	Cl	0,5531	**
Ca	SO ₄	0,8797	**
Ca	CE	0,8589	**
Ca	STD	0,8567	**
Ca	pH	-0,1498	ns
Ca	Eh	0,1702	ns
Ca	Alcalinidade	0,6973	**
Ca	NO ₃	0,0279	ns
Ca	NH ₃	0,5749	**
Ca	Fe	0,5718	**
Ca	CO ₃	-0,126	ns
Ca	HCO ₃	0,6745	**
Mg	Cl	0,8926	**
Mg	SO ₄	0,7994	**
Mg	CE	0,7883	**
Mg	STD	0,7729	**
Mg	pH	-0,0482	ns
Mg	Eh	0,157	ns
Mg	Alcalinidade	0,4865	**
Mg	NO ₃	-0,061	ns

Tabela 4.12 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho - abril de 2012 (Continuação).

Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Mg	NH ₃	0,9401	**
Mg	Fe	0,9418	**
Mg	CO ₃	-0,1116	ns
Mg	HCO ₃	0,5162	**
Cl	SO ₄	0,669	**
Cl	CE	0,7411	**
Cl	STD	0,7255	**
Cl	pH	-0,0077	ns
Cl	Eh	0,0511	ns
Cl	Alcalinidade	0,3393	ns
Cl	NO ₃	0,1018	ns
Cl	NH ₃	0,9339	**
Cl	Fe	0,9294	**
Cl	CO ₃	-0,0783	ns
Cl	HCO ₃	0,3635	*
SO ₄	CE	0,7867	**
SO ₄	STD	0,7776	**
SO ₄	pH	-0,175	ns
SO ₄	Eh	0,293	ns
SO ₄	Alcalinidade	0,8099	**
SO ₄	NO ₃	-0,1225	ns
SO ₄	NH ₃	0,6963	**
SO ₄	Fe	0,6982	**
SO ₄	CO ₃	-0,0996	ns
SO ₄	HCO ₃	0,7856	**
CE	STD	0,9987	**
CE	pH	-0,0761	ns
CE	Eh	0,0721	ns
CE	Alcalinidade	0,5425	**
CE	NO ₂	0	ns
CE	NO ₃	0,3947	*
CE	NH ₃	0,6404	**
CE	Fe	0,6353	**
CE	CO ₃	-0,1254	ns
CE	HCO ₃	0,5162	**
STD	pH	-0,0807	ns
STD	Eh	0,074	ns
STD	Alcalinidade	0,5399	**
STD	NO ₂	0	ns

Tabela 4.12 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho - abril de 2012 (Continuação).

Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
STD	NO ₃	0,4129	*
STD	NH ₃	0,6232	**
STD	Fe	0,6182	**
STD	CO ₃	-0,1237	ns
STD	HCO ₃	0,5123	**
pH	Eh	-0,8441	**
pH	Alcalinidade	-0,1706	ns
pH	NO ₂	0	ns
pH	NO ₃	0,1677	ns
pH	NH ₃	0	ns
pH	Fe	0,0042	ns
pH	CO ₃	-0,2881	ns
pH	HCO ₃	-0,1519	ns
Eh	Alcalinidade	0,3226	ns
Eh	NO ₂	0	ns
Eh	NO ₃	-0,3042	ns
Eh	NH ₃	0,0868	ns
Eh	Fe	0,0915	ns
Eh	CO ₃	0,1292	ns
Eh	HCO ₃	0,316	ns
Alcalinidade	NO ₂	0	ns
Alcalinidade	NO ₃	-0,2169	ns
Alcalinidade	NH ₃	0,3761	*
Alcalinidade	Fe	0,3845	*
Alcalinidade	CO ₃	-0,0634	ns
Alcalinidade	HCO ₃	0,9788	**
NO ₂	NO ₃	0	ns
NO ₂	NH ₃	-0,0691	**
NO ₂	CO ₃	0	ns
NO ₂	HCO ₃	0	ns
NO ₃	NH ₃	-0,1341	ns
NO ₃	Fe	-0,1458	ns
NO ₃	CO ₃	-0,062	ns
NO ₃	HCO ₃	-0,2541	ns
NH ₃	Fe	0,9969	**
NH ₃	CO ₃	0	ns

Tabela 4.12 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho - abril de 2012 (Continuação).

Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
NH ₃	HCO ₃	0,4147	*
Fe	CO ₃	-0,0411	ns
Fe	HCO ₃	0,4256	*
CO ₃	HCO ₃	-0,0412	ns

Legenda:

** = significativo ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$)

* = significativo ao nível de 5% de significância ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns = não significativo ($p \geq 0,05$).

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se, como demonstra a **tabela 4.13**, que:

- A maioria das correlações (89/136), o que equivale a 65% são Não Significativas, classificadas como muito fracas (60) e fracas (29);
- As correlações Significativas equivalem a 12,5% (17/136), sendo 6 fracas, e 11 moderadas;
- Existem 22% (30/136) de correlações Muito Significativas, das quais 18 é do tipo moderada, 7 fortes e 5 muito fortes.

Tabela 4.13 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho – outubro de 2012.

Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Na	K	0,1461	ns
Na	Ca	0,3633	*
Na	Mg	0,2062	ns
Na	Cl	0,9471	**
Na	SO ₄	0,4648	**
Na	CE	0,9578	**
Na	STD	0,8978	**
Na	pH	-0,1725	ns
Na	Eh	0,296	ns
Na	Alcalinidade	-0,0666	ns
Na	NO ₂	-0,1202	ns
Na	NO ₃	0,8684	**
Na	NH ₃	0,2265	ns

Tabela 4.13 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho - outubro de 2012 (Continuação).

Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Na	Fe	-0,1297	ns
Na	CO ₃	-0,0872	ns
Na	HCO ₃	-0,0915	ns
K	Ca	0,4573	*
K	Mg	0,6538	**
K	Cl	0,0892	ns
K	SO ₄	0,1716	ns
K	CE	0,2773	ns
K	STD	0,3632	*
K	pH	0,3526	ns
K	Eh	-0,1215	ns
K	Alcalinidade	0,5765	**
K	NO ₂	0,3134	ns
K	NO ₃	0,2078	ns
K	NH ₃	0,0269	ns
K	Fe	0,2043	ns
K	CO ₃	0	ns
K	HCO ₃	0,5916	**
Ca	Mg	0,4269	*
Ca	Cl	0,2414	ns
Ca	SO ₄	0,2634	ns
Ca	CE	0,4939	**
Ca	STD	0,5672	**
Ca	pH	0,3822	*
Ca	Eh	-0,2266	ns
Ca	Alcalinidade	0,59	**
Ca	NO ₂	-0,1621	ns
Ca	NO ₃	0,4014	*
Ca	NH ₃	0,0734	ns
Ca	Fe	0,1146	ns
Ca	CO ₃	-0,1741	ns
Ca	HCO ₃	0,5708	**
Mg	Cl	0,0932	ns
Mg	SO ₄	0,1625	ns
Mg	CE	0,3129	ns
Mg	STD	0,3066	ns
Mg	pH	0,3908	*

Tabela 4.13 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho - outubro de 2012 (Continuação).

Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Mg	Eh	-0,2759	ns
Mg	Alcalinidade	0,4531	*
Mg	NO ₂	0,2046	ns
Mg	NO ₃	0,2878	ns
Mg	NH ₃	-0,1103	ns
Mg	Fe	0,4171	*
Mg	CO ₃	0,4712	**
Mg	HCO ₃	0,5185	**
Cl	SO ₄	0,502	**
Cl	CE	0,9331	**
Cl	STD	0,8774	**
Cl	pH	-0,2061	ns
Cl	Eh	0,3079	ns
Cl	Alcalinidade	-0,0721	ns
Cl	NO ₂	-0,1436	ns
Cl	NO ₃	0,733	**
Cl	NH ₃	0,3461	ns
Cl	Fe	-0,1273	ns
Cl	CO ₃	-0,0762	ns
Cl	HCO ₃	-0,0981	ns
SO ₄	CE	0,518	**
SO ₄	STD	0,4836	**
SO ₄	pH	0,241	ns
SO ₄	Eh	-0,2952	ns
SO ₄	Alcalinidade	0,4097	*
SO ₄	NO ₂	-0,1175	ns
SO ₄	NO ₃	0,1331	ns
SO ₄	NH ₃	0,7462	**
SO ₄	Fe	0,1501	ns
SO ₄	CO ₃	-0,5329	**
SO ₄	HCO ₃	0,4183	*
CE	STD	0,9729	**
CE	pH	-0,0909	ns
CE	Eh	0,2146	ns
CE	Alcalinidade	0,0911	ns
CE	NO ₂	-0,1196	ns

Tabela 4.13 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho - outubro de 2012 (Continuação).

Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
CE	NO ₃	0,8447	**
CE	NH ₃	0,2824	ns
CE	Fe	-0,0806	ns
CE	CO ₃	-0,0515	ns
CE	HCO ₃	0,0705	ns
STD	pH	-0,0425	ns
STD	Eh	0,1908	ns
STD	Alcalinidade	0,1618	ns
STD	NO ₂	-0,1346	ns
STD	NO ₃	0,8062	**
STD	NH ₃	0,258	ns
STD	Fe	-0,056	ns
STD	CO ₃	-0,0695	ns
STD	HCO ₃	0,1427	ns
pH	Eh	-0,4167	*
pH	Alcalinidade	0,4989	**
pH	NO ₂	0,2242	ns
pH	NO ₃	-0,2779	ns
pH	NH ₃	0,1565	ns
pH	Fe	0,1224	ns
pH	CO ₃	0,2962	ns
pH	HCO ₃	0,5365	**
Eh	Alcalinidade	-0,4694	**
Eh	NO ₂	-0,0819	ns
Eh	NO ₃	0,377	*
Eh	NH ₃	-0,1791	ns
Eh	Fe	-0,2224	ns
Eh	CO ₃	-0,0689	ns
Eh	HCO ₃	-0,5072	**
Alcalinidade	NO ₂	0,0631	ns
Alcalinidade	NO ₃	-0,1822	ns
Alcalinidade	NH ₃	0,416	*
Alcalinidade	Fe	0,4461	*
Alcalinidade	CO ₃	-0,1043	ns
Alcalinidade	HCO ₃	0,9794	**
NO ₂	NO ₃	-0,0774	ns
NO ₂	NH ₃	-0,037	ns
NO ₂	Fe	-0,0931	ns

Tabela 4.13 - Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho - outubro de 2012 (Continuação).

Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
NO ₂	CO ₃	0	ns
NO ₂	HCO ₃	0,0716	ns
NO ₃	NH ₃	-0,0826	ns
NO ₃	Fe	-0,1399	ns
NO ₃	CO ₃	0	ns
NO ₃	HCO ₃	-0,2104	ns
NH ₃	Fe	0,0693	ns
NH ₃	CO ₃	0	ns
NH ₃	HCO ₃	0,3778	*
Fe	CO ₃	-0,0777	ns
Fe	HCO ₃	0,4641	*
CO ₃	HCO ₃	-0,1025	ns

Legenda:

** = significativo ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$)

* = significativo ao nível de 5% de significância ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns = não significativo ($p \geq 0,05$).

Conclusão sobre as correlações nas duas campanhas

Das 136 correlações de parâmetros químicos apresentadas em cada uma das campanhas, conforme **tabelas 4.12 e 4.13**, verifica-se que em termos médios 55,5% são Não Significativas. As correlações Significativas representam apenas 10,3% do total, enquanto que as correlações Muito Significativas, resultantes do Teste t ao nível de 1%, correspondem a 31,5% do total.

As correlações existentes entre Na (sódio), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), CE (condutividade elétrica) e STD (sólidos totais dissolvidos) indicam influência do intemperismo químico, por conta da baixa presença de íons, haja vista que os seus teores foram encontrados em poucas quantidades, o que corrobora com a ideia de que esses elementos foram liberados há anos ao longo da interação água x rocha, e que se apresentam extremamente diluídos devido a elevada precipitação associada a constante renovação das águas na planície amazônica.

Os parâmetros Na (sódio), K (potássio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica), STD (sólidos totais dissolvidos), NO₃ (nitrato), NH₃ (amônia) e SO₄ (sulfato) apresentaram correlação entre si, o que sugere poluição nas águas subterrâneas oriunda de atividade antrópica, principalmente lançamento de esgoto in natura, haja vista que tais constituintes representam uma medida indireta de concentração de poluentes. Além disso, as correlações altamente significativas envolvendo as variáveis nitrato e amônia se devem principalmente ao contato das águas subterrâneas com as fossas negras, vazamento nas redes coletoras de esgoto e influência de rios próximos à área de captação dos poços. Tal justificativa é plausível na área de estudo, haja

vista a ausência de esgotamento sanitário e a falta de proteção sanitária na instalação dos poços.

4.8 – Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho

4.8.1 – Cor

Os resultados obtidos no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso mostraram em 100% (30/30) das amostras coletadas, valores de cor < 5,0, ou seja, inferiores ao LD (limite de detecção); enquanto que no período de estiagem, 90% (27/30) das amostras apresentaram resultados inferiores a 5.

A estatística descritiva da cor apresentada na **tabela 4.14** não variou no período chuvoso, apresentando todas as amostras com valores abaixo do limite de detecção, com média e mediana iguais a 4,9 uH. No período seco a variação entre o mínimo e o máximo foi de 4,9 a 24 uH, com média de 5,6 e mediana de 4,9 uH, configurando uma distribuição lognormal, com desvio padrão de 3,5.

Tabela 4.14 – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Cor-1) abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Cor-1	30	4,9	-1,01E-15	1,01E-15	4,9	4,9	4,9	2,71E-15	4,94E-16	-1,05
Cor-2	30	5,6	4,3	7,0	4,9	4,9	24,0	3,5	0,6	5,4

Dentre os três valores quantificáveis na segunda campanha, apenas o poço PVH24 ultrapassou o VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.1**). Esse valor de 24 uH obtido, provavelmente se deve a contaminação por lançamento de esgoto *in natura*, próximo ao local de instalação do poço, haja vista que a cidade não possui sistema de esgotamento sanitário implantado.

O gráfico do período chuvoso mostra que o erro amostral é praticamente nulo $\bar{X} - \mu = 0$, pois todos os valores são constantes, iguais a 4,9 uH, e portanto todos tem a mesma probabilidade (**figura 4.4a**). O histograma de frequência modelado no período seco por uma Função de Distribuição de Probabilidade (fdp) lognormal, apresentado na **figura 4.4b** mostra que 90% dos valores são inferiores a 5 uH, ou seja, inferiores ao LD.

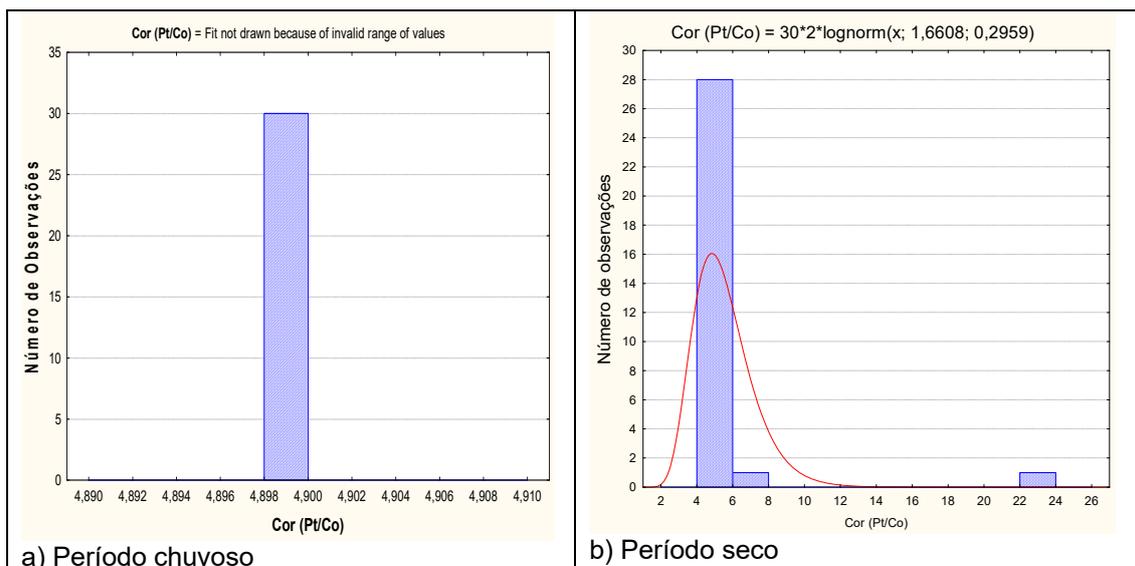


Figura 4.4 – Gráfico do período chuvoso (abril de 2012), com todos os valores da amostra constantes (4,9 uH). Histograma de frequência no período seco (outubro de 2012) e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Cor das águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

O modelo de fdp ajustado ao histograma do período de estiagem sugere que o parâmetro cor tende a ser maior quando comparado ao período chuvoso (**tabela 4.15**). Entende-se que tal resultado não condiz com a realidade, pois quase todas as amostras, em ambas as campanhas, apresentaram valores abaixo do limite de detecção. Portanto, admite-se que o parâmetro cor das águas subterrâneas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho não sofre influência da sazonalidade, haja vista que isso é o comum na maioria das águas subterrâneas.

Tabela 4.15 – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cor-1	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Cor-2	5,3	4,1	3,6	3,2	2,9	2,6
Razão	0,9	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9

4.8.2 – Turbidez

Nas amostras de água do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho foram detectados valores de turbidez (uT) em 67% (20/30) das análises do período chuvoso e em apenas 30% (9/30) das análises do período de estiagem. Nas demais amostras os valores ficaram abaixo do LD (limite de detecção), que é igual a 0,1.

Os valores detectados pela estatística descritiva (**tabela 4.16**) variaram de 0,09 a 124 uT, com mediana de 0,57 no período chuvoso; enquanto que no período seco, se distribuíram entre 0,09 a 7,6 uT, com mediana de 0,09 uT. Na primeira campanha 23% (7/30) dos poços apresentaram valores acima do VMP de

potabilidade da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.2**), ao passo que na segunda campanha, apenas 3,3% (1/30) dos poços ultrapassam os padrões.

Tabela 4.16 – Estatística descritiva da Turbidez do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

Tu	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Tu-1	30	6,7	-1,7	15,14	0,57	0,09	124	22,6	4,13	5,16
Tu-2	30	0,74	0,09	1,38	0,09	0,09	7,6	1,731	0,316	3,04

Os histogramas de frequência da turbidez nos dois períodos de amostragem (**figura 4.5**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal.

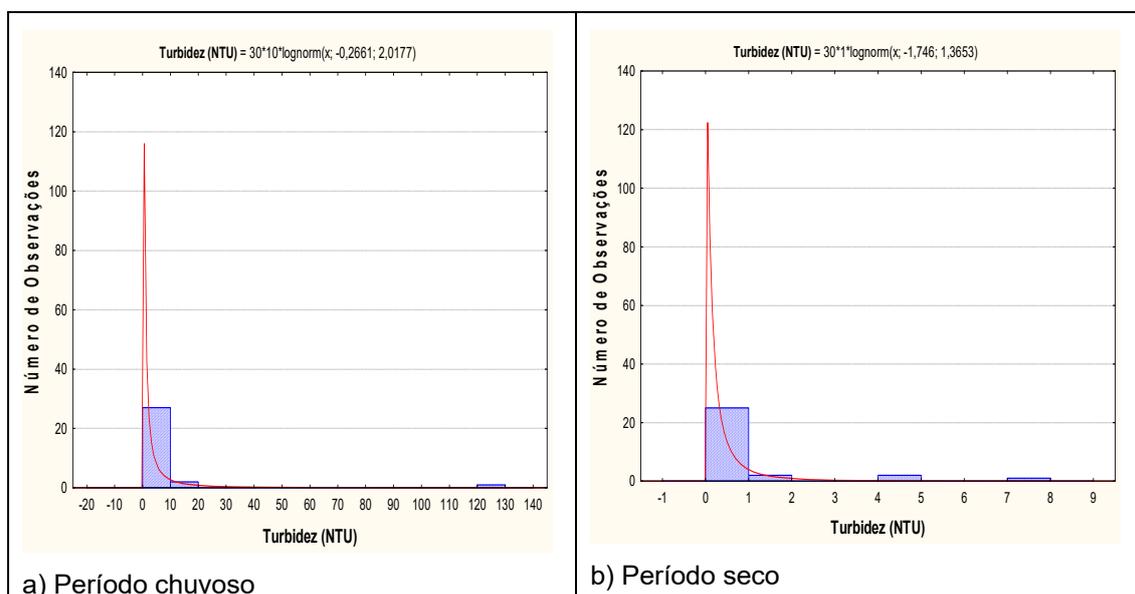


Figura 4.5 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Turbidez das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 4.17**) que os valores de turbidez estimados para o período chuvoso apresentam um ligeiro aumento no período chuvoso, indicando que há alguma influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é superior a 1 (um). Isso ocorre principalmente na época de cheias, onde a água da chuva que escoar pelo solo carrega consigo sedimentos que permanecem em suspensão na água tornando-a mais turva, a qual entra em contato com as águas subterrâneas por meio dos poços mal protegidos.

Tabela 4.17 – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Tu-1	0,766	0,140	0,058	0,028	0,012	0,007
Tu-2	0,174	0,055	0,030	0,018	0,011	0,007
Razão	4,39	2,54	1,90	1,50	1,15	0,96

Outro fator que justifica os elevados teores de turbidez nas águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho é a presença de ferro, haja vista que algumas das análises de ferro indicaram valores acima de 0,3 mg/L, ou seja, superiores ao VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011.

As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas em relação a turbidez, porém, em alguns casos, águas ricas em íons Fe podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar (Narciso & Gomes, 2004), o que é plausível na área de estudo.

4.8.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, de acordo com a estatística descritiva (**tabela 4.18**), variou no ano de 2012, de 8,9 a 369 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso, com média de 77,85 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de 60,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No período seco a variação entre o mínimo e o máximo foi de 11 a 214 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média de 48,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de 40,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabela 4.18 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

CE	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CE-1	30	77,85	45,8	109,9	60,5	8,9	369	85,86	15,68	2,30
CE-2	30	48,7	33,63	63,77	40,5	11	214	40,36	7,37	2,59

Os valores de condutividade elétrica obtidos no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, em sua maioria, são baixos, haja vista que 93% e 97% dos poços, respectivamente na primeira e segunda coleta, apresentaram resultados inferiores a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Isto é reflexo do clima da região amazônica, com alta incidência de chuvas, o que assegura a renovação constante das águas dos aquíferos e dos rios ali presentes.

Os valores de CE acima de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ encontrados no período chuvoso em 7% (2/30) das amostras e 3% (1/30) no período seco são coerentes, pois segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica depende da composição iônica dos corpos d'água e pode ser influenciada também pelo volume de chuvas, o que é bastante frequente na região estudada.

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; e água poluída, quando a CE é $> 10.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Nesse caso, as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potável.

Os histogramas de frequência da condutividade elétrica ilustrados na **figura 4.6** nos dois períodos de amostragem foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para CE com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 4.19**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-

se que os valores de CE no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

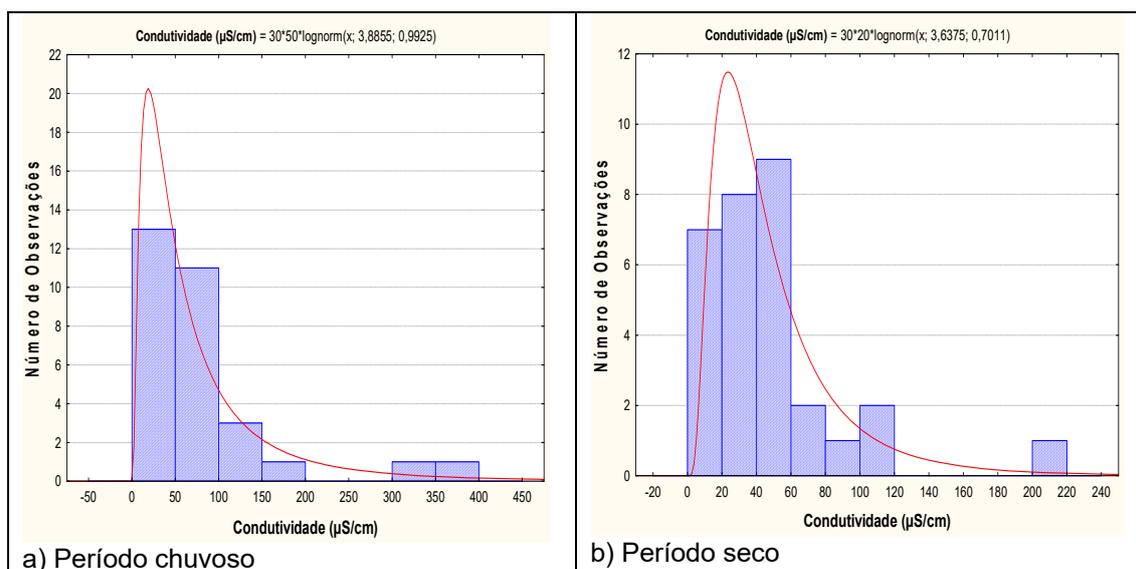


Figura 4.6 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica (CE) das águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Custodio & Llamas (1983), a condutividade elétrica da água constitui um parâmetro físico que corresponde à quantidade de íons dissolvidos em seu meio e varia com a temperatura, mobilidade e valência dos íons presentes. Este parâmetro está intrinsecamente correlacionado à geologia de cada localidade, ou seja, o arcabouço de rochas, minerais e sedimentos que constituem uma determinada região, os quais influenciarão diretamente os íons que vão compor as águas superficiais e subterrâneas. Na região amazônica, segundo Campos (2003), valores de condutividade elétrica compreendidos entre 10 a 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ são considerados como *background* regional das águas subterrâneas, de modo que valores acima deste padrão indicam influência antrópica na qualidade das águas subterrâneas.

Dessa forma, os resultados do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são justificáveis, pois de acordo com o **item 4.2**, os solos provenientes das rochas cristalinas fornecem a maior quantidade de íons nas águas. Outro fator que pode contribuir para a elevação da condutividade elétrica é a ausência de esgotamento sanitário na área de estudo, haja vista que em ambos os períodos de coleta, foi verificada correlação significativa entre as variáveis CE, STD e SO_4 , como pode ser observado no **item 4.7**, o que sugere contaminação das águas subterrâneas a partir da infiltração do esgoto *in natura*.

Tabela 4.19 – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CE-1	48,69	21,12	13,65	9,52	6,34	4,84
CE-2	38,00	21,06	15,47	11,99	9,00	7,44
Razão	1,28	1,002	0,88	0,79	0,70	0,65

4.8.4 – Temperatura

A estatística descritiva da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (**tabela 4.20**) indica que no período chuvoso a temperatura medida em campo das águas coletadas no aquífero variou de 24,9°C a 33°C. No período de estiagem as temperaturas foram mais altas, variando de 30,6°C a 36,3°C. A média e a mediana no período chuvoso assumem praticamente o mesmo valor (29,5°C e 29,7°C), enquanto no período seco assumem exatamente o mesmo valor (32,6°C), caracterizando uma distribuição normal, conforme mostram os histogramas da **figura 4.7**.

Tabela 4.20 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

T	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
T-1	30	29,5	29	30,2	29,7	24,9	33	1,8	0,3	-0,4
T-2	30	32,6	32,1	33,2	32,6	30,6	36,3	1,4	0,3	0,8

Os histogramas de frequência da temperatura das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, modelados por curvas normais de distribuição de probabilidade, são mostrados na **figura 4.7**.

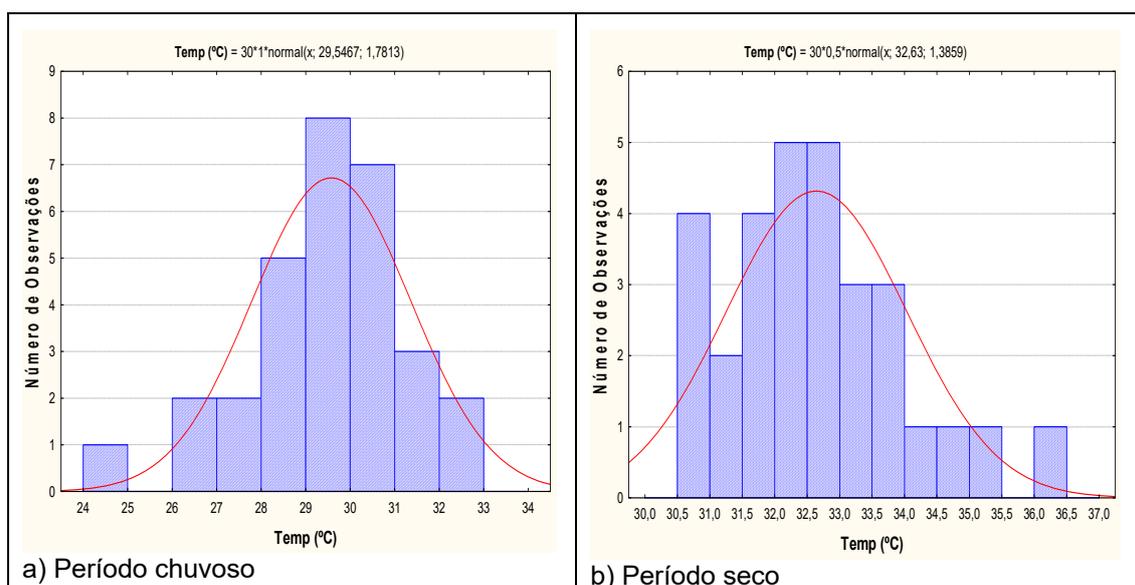


Figura 4.7 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados da modelagem apresentados na **tabela 4.21** sugerem que as temperaturas das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são superiores no período de estiagem, e indicam efeito da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é inferior a 1 (um). Embora a média registrada seja relativamente alta de 32,6°C no período de estiagem, ela resulta de valores medidos efetivamente em campo.

Tabela 4.21 – Distribuição de probabilidade do T(°C) no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
T-1	29,5	28,0	27,3	26,6	25,9	25,4
T-2	32,6	31,5	30,9	30,4	29,8	29,4
Razão	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

4.8.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

De acordo com Suassuna (2007), na maioria das águas naturais, os sólidos totais dissolvidos (STD) se relacionam com a condutividade elétrica (CE) através de uma equação linear com coeficiente angular situado na faixa de 0,55 a 0,75. No caso do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, os dados desses parâmetros são apresentados na **tabela 4.22**.

Tabela 4.22 – Valores de condutividade elétrica CE (µS/cm) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, nas duas campanhas de amostragem.

Abril de 2012			Outubro de 2012		
Poço	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	Poço	CE (µS/cm)	STD (mg/L)
PVH01	75	49	PVH03	16	12
PVH02	62	45	PVH04	58	47
PVH03	35	26	PVH05	55	41
PVH04	68	49	PVH06	25	22
PVH05	45	32	PVH08	43	34
PVH06	13	10	PVH09	66	53
PVH07	59	41	PVH10	59	50
PVH08	17	12	PVH11	56	51
PVH09	57	44	PVH12	21	17
PVH10	326	225	PVH13	20	15
PVH11	66	48	PVH14	24	19
PVH12	21	16	PVH15	53	42
PVH13	9,2	7	PVH16	38	34
PVH14	21	16	PVH18	102	77
PVH15	77	54	PVH20	28	23
PVH16	78	53	PVH21	18	15
PVH17	369	246	PVH22	214	125
PVH18	140	105	PVH24	24	21

Tabela 4.22 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, nas duas campanhas de amostragem (Continuação).

Abril de 2012			Outubro de 2012		
Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD (mg/L)	Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD (mg/L)
PVH19	21	17	PVH30	28	20
PVH20	21	16	PVH31	14	14
PVH21	98	68	PVH32	86	44
PVH22	193	127	PVH33	58	47
PVH23	103,5	69	PVH34	67	47
PVH24	14	11	PVH35	18	13
PVH25	23	14	PVH36	15	8
PVH26	80	57	PVH37	45	36
PVH27	70	49	PVH38	107	65
PVH28	144	106	PVH39	54	40
PVH29	8,9	6	PVH40	11	7
PVH30	21	16	PVH41	38	27

Na correlação linear estabelecida com os dados da **tabela 4.22**, os coeficientes angulares encontrados são, respectivamente, iguais a 0,675 no período chuvoso e 0,59 no período seco (**figura 4.8**). Isso demonstra que nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho existe uma forte correlação linear entre STD e CE, conforme revelam os valores dos coeficientes de determinação da regressão (R^2), respectivamente iguais a 0,99 no período chuvoso e 0,95 no período de estiagem.

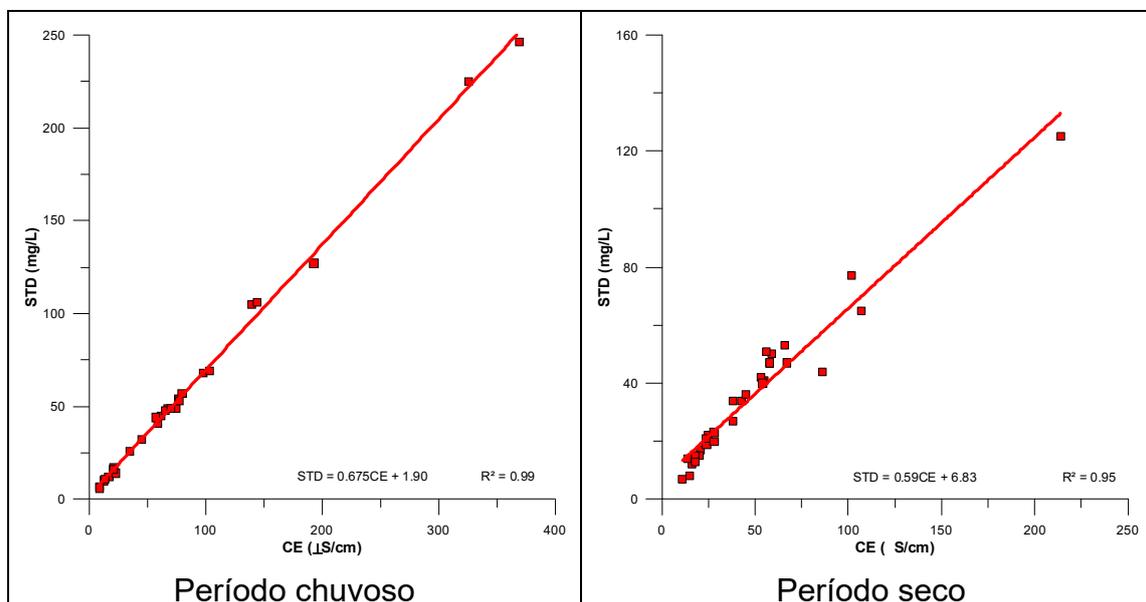


Figura 4.8 – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

Os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, segundo a estatística descritiva mostrada na **tabela 4.23**, variam de 6 mg/L a 246 mg/L no período chuvoso, com média de 54,5 mg/L e mediana de 44,5 mg/L . No período de estiagem, o mínimo observado foi de 7

mg/L e o máximo de 125 mg/L, com média de 35,5 mg/L e mediana de 34 mg/L. Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011, que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade (**item 2.5**). Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados de STD abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.5**), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, em relação a esse parâmetro.

Tabela 4.23 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
STD-1	30	54,5	32,8	76,1	44,5	6	246	58,0	10,6	2,2
STD-2	30	35,5	26,4	44,7	34	7	125	24,4	4,5	1,8

De modo geral, os valores de STD obtidos nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são baixos, o que pode ser justificado pela constante renovação das águas associada à elevada precipitação na região, típica da floresta amazônica, e da influência do intemperismo químico, conforme descreve o **item 1.12**.

Os histogramas de frequência de STD ilustrados na **figura 4.9** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para STD com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 4.24**). Dessa forma, com base nos dados de média e mediana considera-se que os valores de STD no período chuvoso são superiores aos de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade.

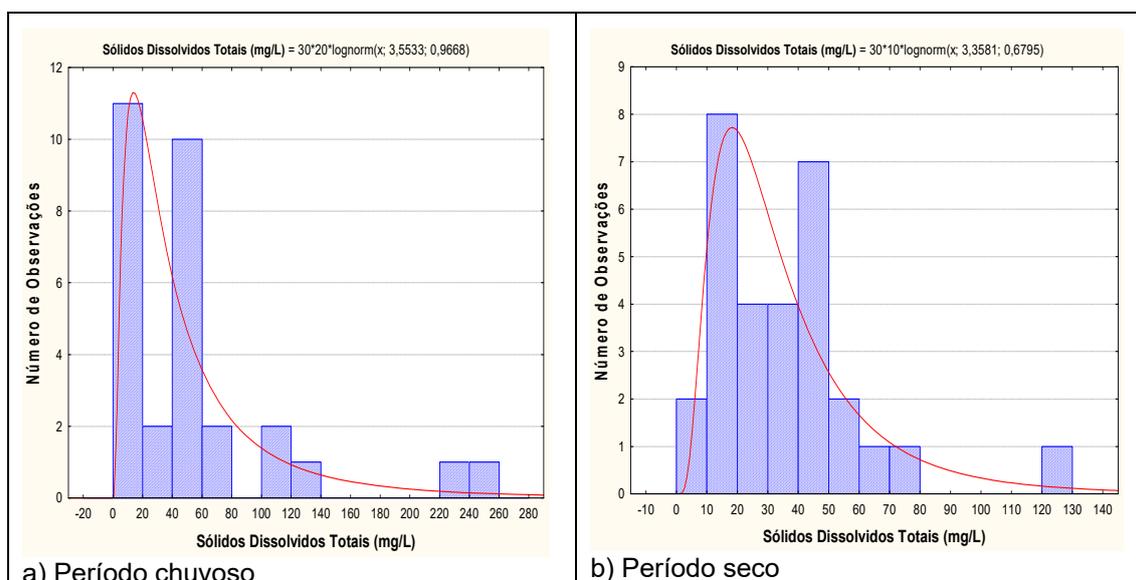


Figura 4.9 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Esse comportamento é justificável, pois de acordo com o **item 4.2**, os solos mais ricos provenientes das rochas cristalinas fornecem a maior quantidade de íons nas águas.

Além disso, de acordo com Parron *et al.* (2011), o STD serve como um indicador agregado da presença de produtos químicos contaminantes na água, haja vista que as suas fontes primárias podem ser de origem agrícola, residencial, de lixiviados de contaminação do solo, de fontes pontuais de descarga de poluição das águas industriais ou estações de tratamento de esgoto. Desse modo, os teores de STD encontrados nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho também se devem a possíveis fontes de contaminação do lençol freático, principalmente no que se refere à ausência de esgotamento sanitário, haja vista que a área de estudo está inserida em local bastante urbanizado.

Tabela 4.24 – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
STD-1	34,93	15,48	10,12	7,12	4,80	3,68
STD-2	28,73	16,22	12,03	9,40	7,12	5,91
Razão	1,22	0,95	0,84	0,76	0,67	0,62

4.8.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade (**item 2.6**). No caso específico do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho para os 30 poços cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é ácido no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo dentro do próprio poço, tende a atingir a neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

De acordo com a estatística descritiva (**tabela 4.25**), nas águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, os valores de pH *in situ* encontrados no período chuvoso ficaram compreendidos entre 4,2 e 7,2, com média e mediana igual a 5,5. No período seco, os valores oscilaram entre um mínimo de 3,0 e máximo de 6,3, com média e mediana igual a 5,2.

Tabela 4.25 – Estatística descritiva do pH *in situ* no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
pH-1	30	5,5	5,3	5,7	5,5	4,2	7,2	0,66	0,12	0,3
pH-2	30	5,2	4,9	5,4	5,2	3,0	6,3	0,63	0,11	-1,0

Os histogramas de frequência e respectivas curvas ajustadas à lei normal de distribuição de probabilidade para o período chuvoso (abril 2012) e para o período seco (outubro de 2012) são apresentados na **figura 4.10**.

Na **tabela 4.26** são indicados com risco calculado, os valores estimados do pH *in situ* no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho para o período chuvoso e para o período seco. Os resultados mostram que em ambos os períodos as águas se caracterizam como ácidas, mas com uma leve tendência de aumento da acidez no período seco, segundo o modelo adotado.

De acordo com Teixeira *et al.* (2000), isso ocorre porque a água da chuva é rica em O₂, que interage com o CO₂ da atmosfera e adquire caráter ácido, e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica enriquecem o ambiente em CO₂, diminuem ainda mais o seu pH. Por isso, as águas subterrâneas são mais ácidas no período seco.

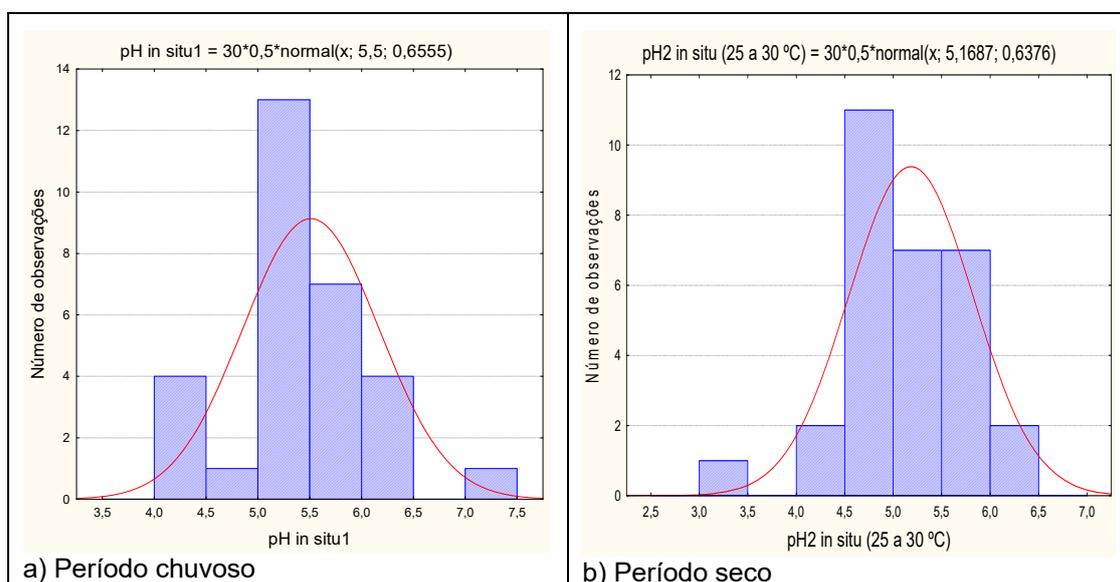


Figura 4.10 – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade do pH do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Essa tendência de aumento da acidez no período de estiagem pode ser resultado da presença do gás carbônico, um componente habitual da acidez das águas naturais, que apesar de não chegar a provocar profundas condições de acidez nas águas, é um elemento importante por estar sempre presente, mediante sua dissolução na água proveniente da atmosfera, por diferença de pressão parcial (Lei de Henry) ou por resultar, em caso de águas poluídas, da decomposição aeróbia ou anaeróbia da matéria orgânica. Isto ocorre também no hipolímnio de lagos estratificados e em águas subterrâneas, especialmente aquelas com níveis reduzidos de carbonatos (Piveli, 2004).

Tabela 4.26 – Distribuição de probabilidade do pH *in situ* no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
pH-1	5,46	4,94	4,69	4,49	4,27	4,14
pH-2	5,20	4,60	4,40	4,10	3,80	3,70
Razão	1,05	1,07	1,07	1,09	1,12	1,12

4.8.7 – Potencial Redox (Eh)

No aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, os diagramas pH-Eh elaborados usando os conceitos descritos no **item 2.7**, revelam os ajustes lineares (**figura 4.11**) feitos a partir dos dados medidos em campo, que foram os seguintes:

- No período chuvoso: $Eh = -0,115 \text{ pH} + 0,751$ com $R^2 = 0,71$
- No do período seco: $Eh = -0,074 \text{ pH} + 0,633$ com $R^2 = 0,24$

Embora o coeficiente de determinação do ajuste do período chuvoso seja razoável e indique uma correlação regular entre Eh e pH, o coeficiente do período seco é insignificante e mostra que não existe correlação significativa entre as medidas de pH e Eh efetuadas em campo. Isto significa, para fins de modelagem termodinâmica, que a distribuição das espécies químicas não pode ser deduzida da concentração total de elementos via potencial redox medido.

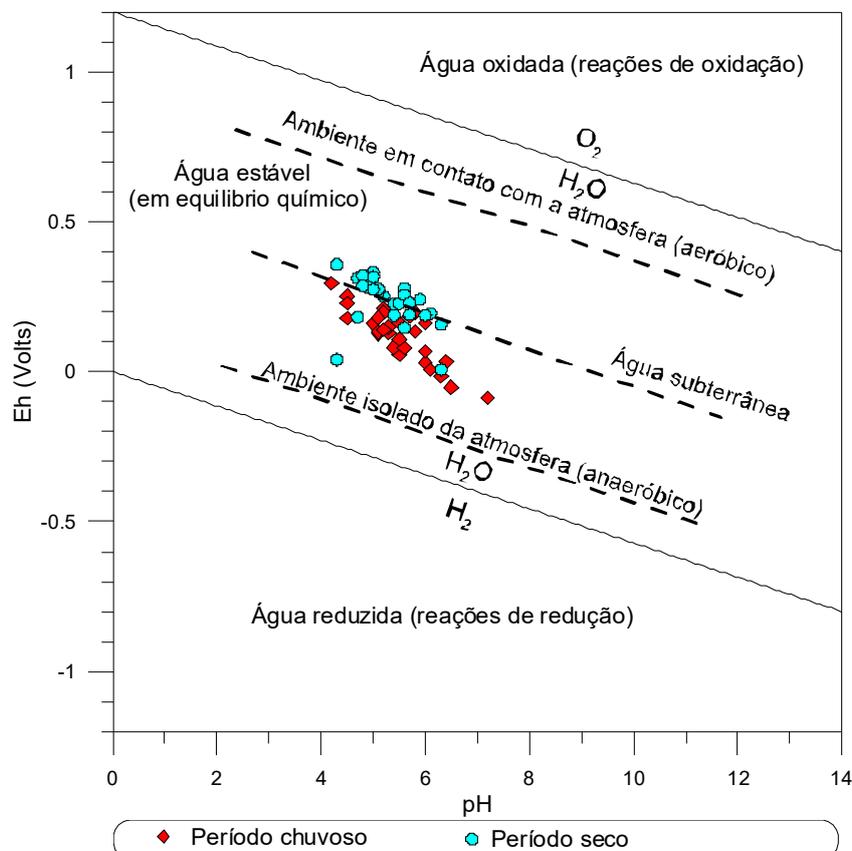


Figura 4.11 – Diagrama pH versus Eh (mV) de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Temperatura *in situ* variou de 25 a 36°C) nas duas campanhas de amostragem.

A estatística descritiva do Eh no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, expressa na **tabela 4.27**, mostra que no período chuvoso os valores de Eh oscilaram entre -87,2 e 294,3 mV, com média de 119,92 mV e mediana igual a 133,55 mV. No período de estiagem os valores oscilaram entre 40 e 357 mV, com média de 252,7 mV e mediana de 271 mV.

No período chuvoso, 90% (27/30) das amostras apresentaram resultados de Eh positivo, enquanto que no período de estiagem, 100% (30/30) das amostras obtiveram valores de Eh positivos, indicando que as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho se encontram em condições oxidantes.

Tabela 4.27 – Estatística descritiva do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).

Eh (mV)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
EH-1	30	119,92	86,6	153,21	133,55	-87,2	294,3	89,14	16,28	-0,44
EH-2	30	252,7	227,11	278,29	271	40	357	68,53	12,51	-1,07

Os histogramas de frequência e as respectivas curvas de distribuição de probabilidade do Eh, modelados pela lei normal, são apresentados na **figura 4.12**.

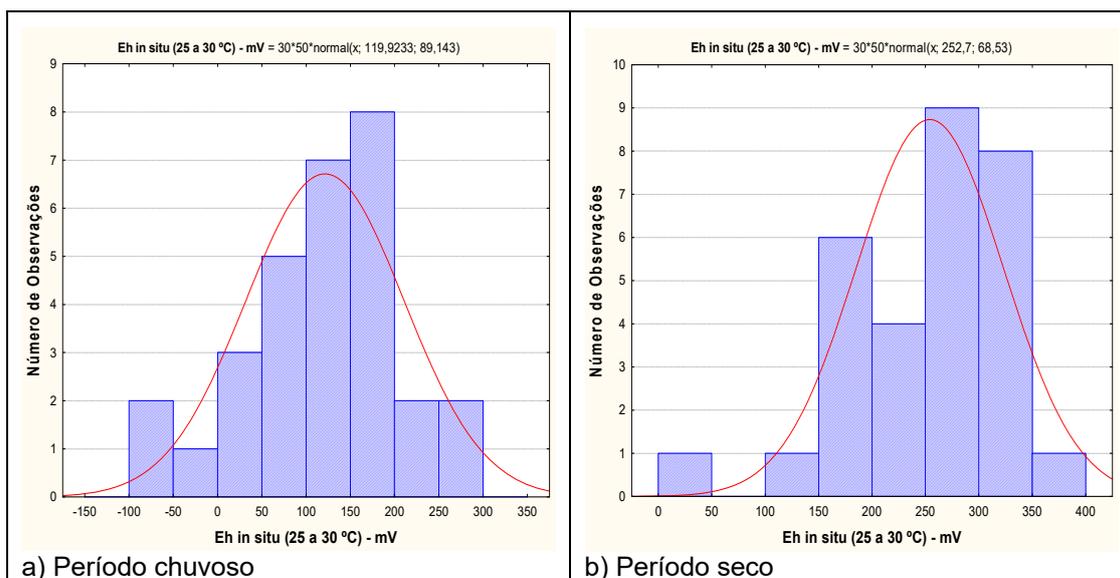


Figura 4.12 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução, em razão da

contínua adição de doadores de elétrons, isto é, compostos orgânicos oxidáveis, o que acarreta, no caso do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, as diferenças de valores de Eh nas duas campanhas.

Na **tabela 4.28** são apresentados com risco calculado, os valores de Eh onde verifica-se que os valores do período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre as duas campanhas é inferior a 1 (um).

Tabela 4.28 – Distribuição de probabilidade do Eh no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
EH -1	119,92	44,90	5,68	-26,70	-63,15	-87,45
EH -2	252,70	195,02	164,88	139,98	111,96	93,28
Razão	0,47	0,23	0,03	-0,19	-0,56	-0,94

Os resultados de Eh obtidos no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são coerentes, pois de acordo com Costa & Ávila (2010), na zona não saturada há, geralmente, oxigênio suficiente na fase gasosa para garantir elevados valores de potencial redox (500 a 800 mV) na água. Apesar disso, condições redutoras ou parcialmente redutoras podem ocorrer em pequenos poros (micro-meios). Nos aquíferos perto da superfície as condições de oxidação prevalecem, assim, potenciais redox baixos nestes aquíferos podem indicar contaminação antropogênica.

No caso do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, os valores de Eh mais elevados na estiagem são consistentes com a ideia acima apresentada, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que conseqüentemente eleva o valor de Eh.

4.8.8 – Cátions

4.8.8.1 – Sódio

A estatística descritiva (**tabela 4.29**) indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho variam entre 0,14 e 42,4 mg/L no período chuvoso, com média de 6,79 mg/L e mediana de 4,85 mg/L; no período de estiagem os teores estão compreendidos entre 0,14 e 33,53 mg/L, com média de 4,71 mg/L e mediana igual a 2,36 mg/L. De acordo com a Portaria MS 2914/2011, todos os valores de sódio encontrados nas duas campanhas estão abaixo do VMP de 200 mg/L, padrão definido como de potabilidade para o consumo humano (**item 2.8.1**).

Tabela 4.29 – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

Na	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Na-1	30	6,79	3,5	10,04	4,85	0,14	42,40	8,69	1,59	2,75
Na-2	30	4,71	2,29	7,14	2,36	0,14	33,53	6,50	1,19	3,27

Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (item 2.8.1), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação.

Os histogramas de frequência dos teores de sódio ilustrados na **figura 4.13** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para sódio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 4.30**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que os valores de sódio no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

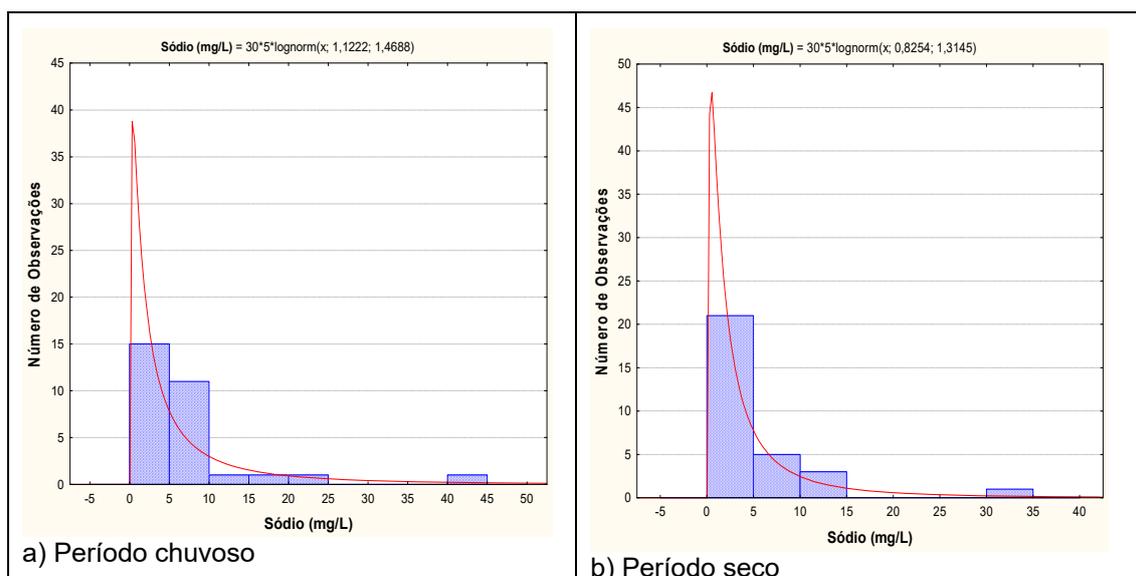


Figura 4.13 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Leprun *et al.* (1989), baseados em análises de águas de percolação de diferentes tipos de solos no Estado de Rondônia, concluíram que o solo é a principal fonte de solutos nas águas e não a chuva. Ainda segundo os autores, após a chuva cair no solo e iniciar o processo de percolação das águas, estas entram em contato com os solos da região, os quais são quimicamente mais ricos, elevando os teores de cátions como Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Na^+ , especialmente no período chuvoso.

Tabela 4.30 – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Na-1	3,072	0,892	0,468	0,274	0,150	0,101
Na-2	2,283	0,755	0,424	0,263	0,153	0,107
Razão	1,35	1,18	1,10	1,04	0,98	0,94

4.8.8.2 – Potássio

A **tabela 4.31** mostra a estatística descritiva dos teores de potássio no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho. No período chuvoso as concentrações de potássio medidas nos 30 poços oscilaram entre 0,13 e 4,60 mg/L, com média de 1,28 mg/L e mediana de 0,98 mg/L. No período de estiagem, a variação foi de 0,08 a 2,90 mg/L, com média de 0,87 mg/L e mediana igual a 0,76 mg/L.

Tabela 4.31 – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

K	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
K-1	30	1,28	0,90	1,70	0,98	0,13	4,60	1,13	0,21	1,89
K-2	30	0,87	0,62	1,13	0,76	0,08	2,90	0,68	0,12	1,16

De acordo com Celligoi (1999), o potássio tem pouca mobilidade geoquímica nas águas doces e é raramente encontrado em concentrações iguais ou maiores que o sódio. Essa afirmação é plausível na área de estudo, haja vista que as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são predominantemente doces, onde os teores de STD em ambas as campanhas são inferiores a 1.000 mg/L, assim como, a maioria dos teores de potássio estão abaixo dos valores de sódio encontrados.

A modelagem dos histogramas de frequência da **figura 4.14** por funções de distribuição de probabilidade permitiu avaliar com risco calculado os valores estimados das concentrações de potássio para o período chuvoso e para o período de estiagem.

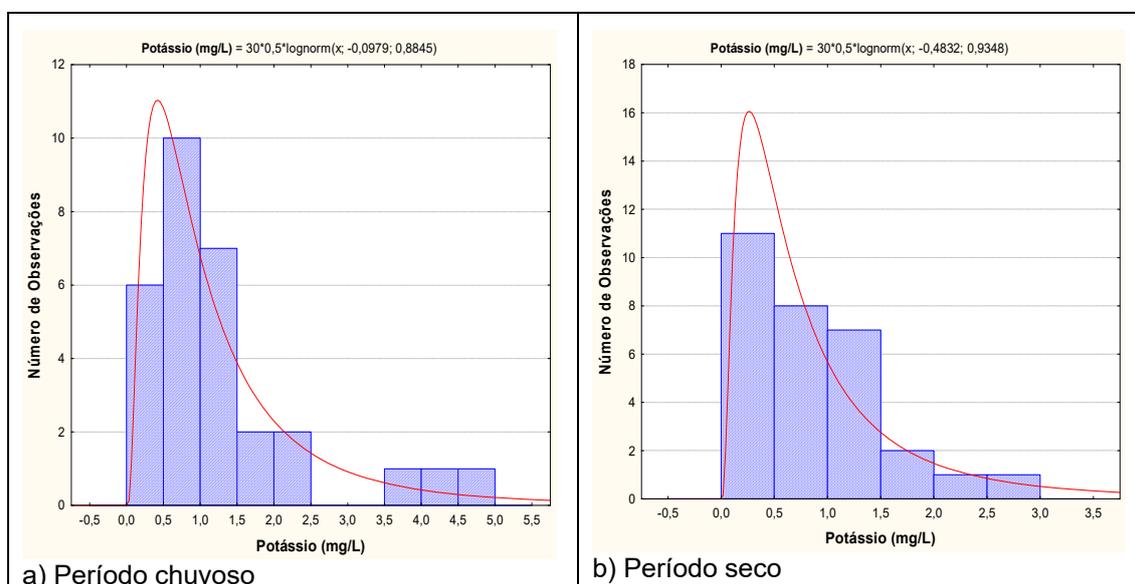


Figura 4.14 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os valores apresentados na **tabela 4.32** mostram que os teores de potássio são maiores no período chuvoso, indicando que existe influência da sazonalidade no tocante às concentrações de potássio no aquífero Coberturas

Cenozoicas de Porto Velho, haja vista que a razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um).

Leprun *et al.* (1989), baseados em análises de águas de percolação de diferentes tipos de solos no Estado de Rondônia, concluíram que o solo é a principal fonte de solutos nas águas e não a chuva. Ainda segundo os autores, após a chuva cair no solo e iniciar o processo de percolação das águas, estas entram em contato com os solos da região, os quais são quimicamente mais ricos, elevando os teores de cátions como Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Na^+ , especialmente no período chuvoso.

Tabela 4.32 – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
K-1	0,907	0,431	0,292	0,212	0,147	0,116
K-2	0,617	0,281	0,186	0,133	0,090	0,070
Razão	1,47	1,53	1,57	1,60	1,63	1,65

Tais resultados são coerentes, pois segundo Pereira *et al.* (2008) o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais. Na área de estudo, os valores mínimo e máximo de potássio encontrados em ambas as campanhas foi de 0,08 e 4,6 mg/L, respectivamente.

Os baixos teores de potássio também podem ser justificados pela alta pluviosidade na região amazônica, a qual favorece a constante renovação das águas e conseqüentemente a diluição dos elementos ali presentes.

4.8.8.3 – Cálcio

A **tabela 4.33** mostra a estatística descritiva dos teores de cálcio medidos no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho. No período chuvoso os valores medidos estão compreendidos entre 0,009 e 19,1 mg/L, com média de 2,71 mg/L e mediana de 0,85 mg/L. Na estiagem, as concentrações de cálcio variam de 0,001 a 4,8 mg/L, com média de 0,94 mg/L e mediana igual a 0,59 mg/L.

Tabela 4.33 – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Ca-1	30	2,71	1,03	4,39	0,85	0,009	19,1	4,50	0,82	2,80
Ca-2	30	0,94	0,53	1,34	0,59	0,001	4,8	1,09	0,20	2,05

A modelagem dos histogramas de frequência da **figura 4.15** por funções de distribuição de probabilidade permitiu avaliar com risco calculado os valores estimados das concentrações de cálcio para o período chuvoso e para o período de estiagem.

Os valores apresentados na **tabela 4.34** mostram que os teores de cálcio são maiores no período chuvoso, indicando que existe influência da sazonalidade

no tocante às concentrações de cálcio no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, haja vista que a razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um).

Leprun *et al.* (1989), baseados em análises de águas de percolação de diferentes tipos de solos no Estado de Rondônia, concluíram que o solo é a principal fonte de solutos nas águas e não a chuva. Ainda segundo os autores, após a chuva cair no solo e iniciar o processo de percolação das águas, estas entram em contato com os solos da região, os quais são quimicamente mais ricos, elevando os teores de cátions como Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Na^+ , especialmente no período chuvoso.

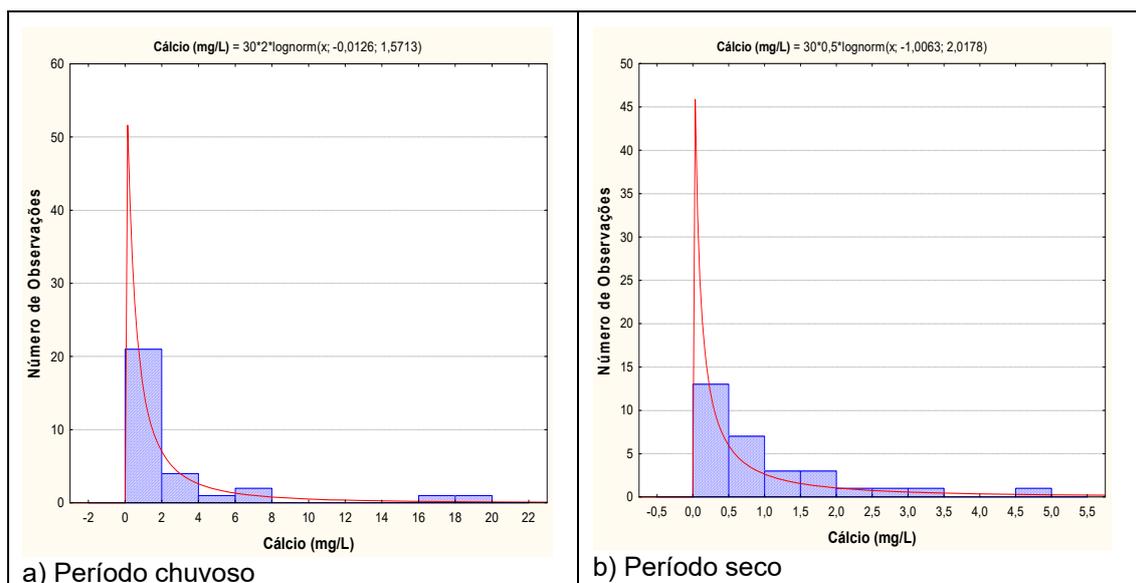


Figura 4.15 – Histogramas de frequência e curvas normais de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo o monitoramento da Ecology Brasil (2011), o cálcio foi o cátion mais abundante no rio Madeira, o que se explica pelo fato desse rio ter a sua origem na região andina, drenando regiões montanhosas e altamente erosíveis, ricas em apatita, que é um fosfato de cálcio.

Tabela 4.34 – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Ca-1	0,987	0,263	0,132	0,074	0,039	0,026
Ca-2	0,366	0,067	0,028	0,013	0,006	0,003
Razão	2,70	3,93	4,79	5,63	6,76	7,63

4.8.8.4 – Magnésio

A estatística descritiva na **tabela 4.35** mostra que os teores de magnésio coletados nas águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho variam de 0,04 a 9,3 mg/L no período chuvoso, com média de 0,83 mg/L e mediana de 0,31 mg/L. No período de estiagem o valor mínimo foi de 0,02

mg/L e o máximo de 1,24 mg/L, com média de 0,42 mg/L e mediana igual a 0,21 mg/L.

Tabela 4.35 – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

Mg	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mg-1	30	0,83	0,20	1,46	0,31	0,04	9,30	1,69	0,31	4,58
Mg-2	30	0,42	0,27	0,57	0,21	0,02	1,24	0,40	0,07	1,06

Em suma, os teores de magnésio encontrados nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são muito baixos. Segundo Celligoi (1999), o magnésio possui grande solubilidade, porém é encontrado em menores quantidades nas águas doces, mais provavelmente pela sua baixa abundância geoquímica (17.600 mg/kg nas rochas ígneas), o que é plausível na área de estudo, haja vista que as águas são predominantemente doces.

Os histogramas de frequência dos teores de magnésio ilustrados na **figura 4.16** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para magnésio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 4.36**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que os valores de magnésio no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

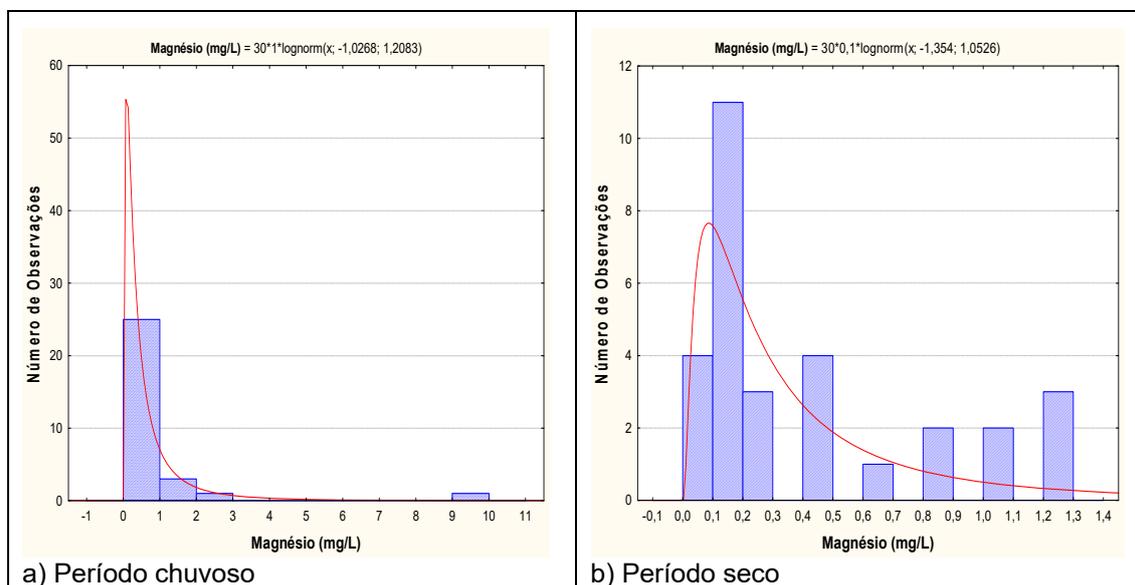


Figura 4.16 – Histogramas de frequência e curvas ajustadas de distribuição lognormal de probabilidade de ocorrência de Magnésio no Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Leprun *et al.* (1989), baseados em análises de águas de percolação de diferentes tipos de solos no Estado de Rondônia, concluíram que o solo é a principal fonte de solutos nas águas e não a chuva. Ainda segundo os autores, após a chuva cair no solo e iniciar o processo de percolação das águas, estas entram em contato com os solos da região, os quais são quimicamente mais

ricos, elevando os teores de cátions como Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Na^+ , especialmente no período chuvoso.

Tabela 4.36 – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

P (x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mg-1	0,3582	0,1295	0,0761	0,0491	0,0299	0,0215
Mg-2	0,2582	0,1065	0,0670	0,0457	0,0297	0,0223
Razão	1,39	1,22	1,14	1,07	1,01	0,97

4.8.9 – Ânions

4.8.9.1 – Cloreto

A **tabela 4.37** mostra a estatística descritiva dos teores de cloreto nas águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho. No período chuvoso (abril de 2012), os valores de cloreto variaram de 0,99 a 79,97 mg/L, com média de 8,44 mg/L e mediana igual a 5,59 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 0,49 a 34,7 mg/L, com média de 5,93 mg/L e mediana de 3,22 mg/L.

Tabela 4.37 – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Cl-1) abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.

Cl	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Cl-1	30	8,44	3,00	13,84	5,59	0,99	79,97	14,46	2,64	4,43
Cl-2	30	5,93	3,16	8,71	3,22	0,49	34,70	7,43	1,36	2,29

Todos os poços amostrados em ambas as campanhas apresentaram resultados de cloreto inferiores ao VMP estabelecido pelo Portaria MS 2914/11 (**item 2.9.1**).

Na primeira campanha, 33% (10/30) das amostras apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 1 mg/L, enquanto que na segunda coleta, 20% (6/30) apresentaram teores abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Em ambas as coletas, todas as amostras apresentaram teores de cloreto inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, de 250 mg/L para consumo humano; 100 a 700 mg/L para irrigação; e de 400 mg/L para recreação, indicando que as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho pode ser empregada para tais usos (**item 2.9.1**).

Na **figura 4.17** se encontram os histogramas de frequência dos teores de cloreto amostrados nas duas campanhas e as respectivas curvas fornecidas pelo modelo de distribuição de probabilidade lognormal aplicado para estimativa, com risco calculado, dos teores de cloreto no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso e de estiagem.

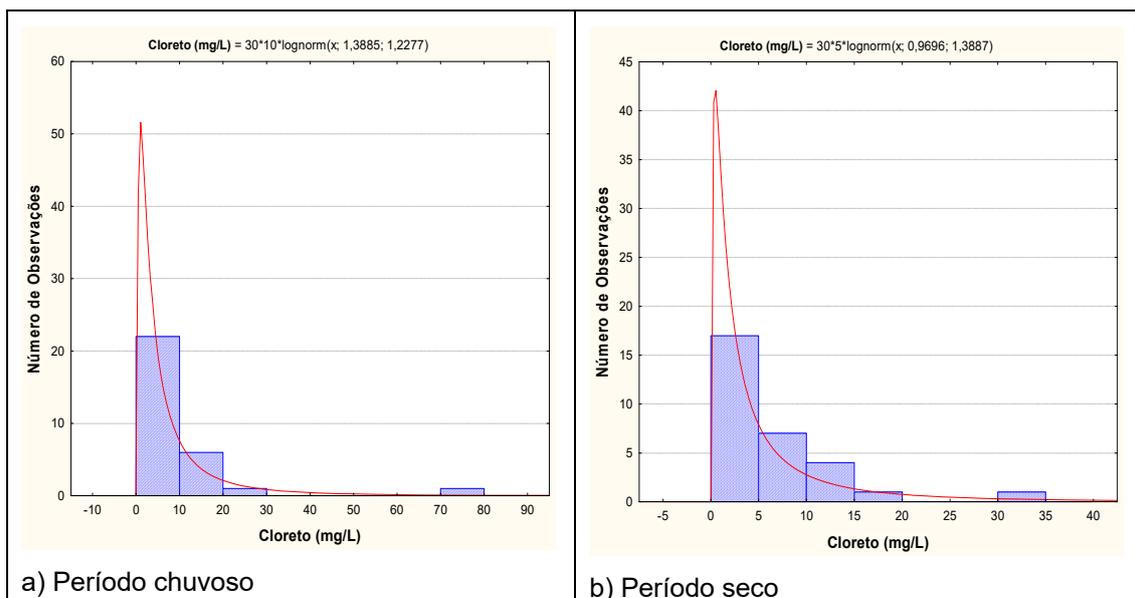


Figura 4.17 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 4.38** encontram-se os teores de cloreto com probabilidade de ocorrência no período chuvoso e no período seco no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho. Nota-se que os valores no período chuvoso são superiores aos do período seco e que a razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um), indicando influência da sazonalidade. Tais resultados são coerentes, pois segundo Leprun *et al.* (1989), a química das precipitações amazônicas provém de dois componentes, o marinho e o terrestre. O marinho, que carrega os elementos dos aerossóis do mar, que é rico em Cl^- , Na^+ e SO_4^{2-} ; e o terrestre que é constituído da poeira do solo e dos produtos de combustão antrópica da vegetação. Por isso, os teores de cloreto no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são maiores no período chuvoso.

Além disso, é importante destacar que teores de cloreto mais elevados sugerem influência antrópica, pois segundo Hindi (2001), a presença de nitrato, cloreto e sódio podem ser indicativos de contaminação nas águas subterrâneas por efluentes domésticos. E como a área de estudo é muito plana e periodicamente afetada por inundações, pode ocorrer o transbordamento de fossas sépticas, cujos dejetos se misturam às águas superficiais, de modo que pode haver infiltração de água contaminada no período chuvoso.

Tabela 4.38 – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CI-1	4,009	1,427	0,831	0,532	0,322	0,231
CI-2	2,637	0,819	0,445	0,269	0,152	0,104
Razão	1,520	1,741	1,869	1,981	2,116	2,212

4.8.9.2 – Sulfato

A estatística descritiva apresentada na **tabela 4.39** indica que os teores de sulfato nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso variam de 0,49 a 16,1 mg/L, apresentando média de 2,07 mg/L e mediana de 0,49 mg/L. No período seco, os teores variaram de 0,49 a 2,03 mg/L, com média de 0,68 mg/L e mediana igual a 0,49 mg/L.

Tabela 4.39 – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

Sulfato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
S-1	30	2,07	0,70	3,49	0,49	0,49	16,10	3,79	0,69	2,77
S-2	30	0,68	0,54	0,81	0,49	0,49	2,03	0,35	0,06	2,54

Na primeira campanha, 60% (18/30) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L, enquanto que na segunda campanha foram 70% (21/30).

Em ambas as coletas, todas as amostras apresentaram teores de sulfato inferiores aos limites estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011, assim como, dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, para consumo humano (250.000 µg.L⁻¹), dessedentação animal (1.000.000 µg.L⁻¹) e recreação (400.000 µg.L⁻¹), conforme descrito no **item 2.9.2**.

Os histogramas de frequência dos teores de sulfato ilustrados na **figura 4.18** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para sulfato com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 4.40**). Sendo assim, com base nos dados de média e valores máximos observa-se que os teores de sulfato no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

Tais resultados são coerentes, pois segundo Leprun *et al.* (1989), a química das precipitações amazônicas provém de dois componentes, o marinho e o terrestre. O marinho, que carrega os elementos dos aerossóis do mar, que é rico em Cl⁻, Na⁺ e SO₄²⁻; e o terrestre que é constituído da poeira do solo e dos produtos de combustão antrópica da vegetação. Por isso, os teores de sulfato no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são maiores no período chuvoso.

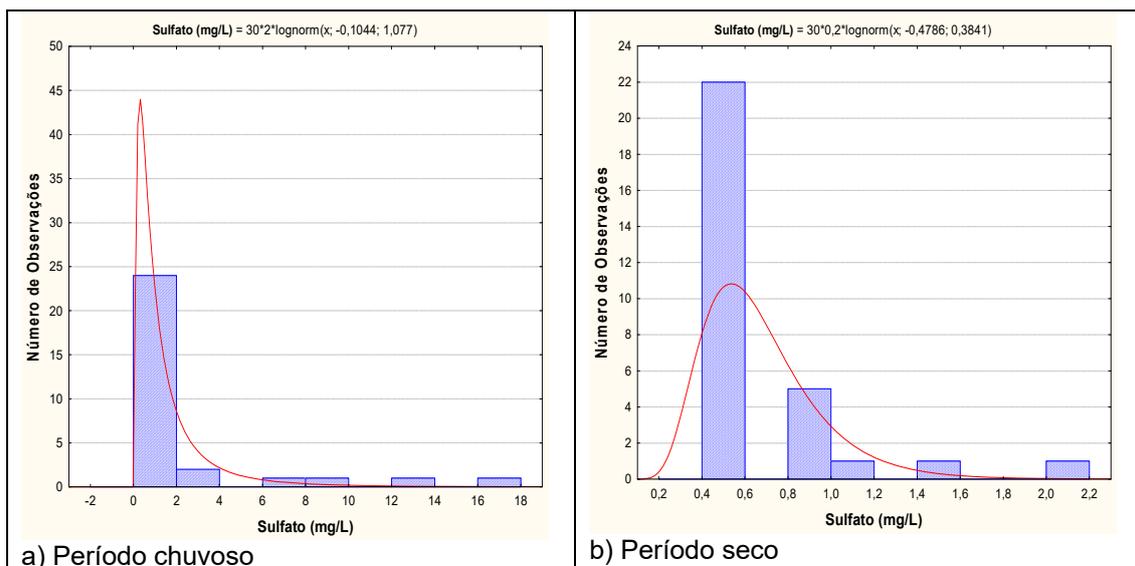


Figura 4.18 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Sulfato Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Outro fator que também contribui para a presença de sulfatos nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, em ambas as campanhas, é a proximidade dos poços com as fossas sanitárias, os quais em muitos casos não possuem a devida proteção sanitária, o que favorece a infiltração do esgoto *in natura* e conseqüentemente a contaminação das águas subterrâneas.

Fazzio *et al.* (2009) descrevem que o crescente aumento da população urbana tem ocasionado um somatório de contaminantes lançados nas águas subterrâneas, oriundos das mais diversas fontes, relacionadas com o espaço urbano, tais como, fossas sépticas, cemitérios, vazamentos em postos de combustível, lixões, agrotóxicos, poços profundos mal instalados ou abandonados, lançamento de resíduos domésticos e industriais, dentre outros.

Tabela 4.40 – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
S-1	0,901	0,364	0,227	0,153	0,099	0,074
S-2	0,620	0,449	0,379	0,329	0,282	0,254
Razão	1,454	0,811	0,598	0,465	0,350	0,290

4.8.9.3 – Bicarbonato

A estatística descritiva dos teores de bicarbonato nas águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (**tabela 4.41**) revela que 30% (9/30) das amostras na primeira e 70% (21/30) na segunda campanha obtiveram valores iguais a zero.

No período chuvoso, as concentrações de bicarbonato oscilaram entre 0,0 e 56 mg/L, com média de 9,81 mg/L e mediana de 6,5 mg/L. No período de estiagem, as concentrações ficaram compreendidas entre 0,0 e 26,0 mg/L, com média de 4,2 mg/L e mediana igual a zero.

Tabela 4.41 – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

Bicarbonato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
B-1	30	9,81	4,89	14,73	6,5	0	56	13,75	2,51	2,19
B-2	30	4,2	1,56	6,84	0	0	26	7,37	1,35	1,66

O bicarbonato não possui VMP definido para o consumo humano, conforme descrito no **item 2.9.3**.

Devido à existência de amostras com teor de bicarbonato igual à zero na primeira campanha (9/30) e na segunda campanha (21/30), a modelagem geoestatística não pode ser realizada porque o ajuste dos histogramas lognormal não pode ser feita com a presença de zero (**figura 4.19**).

De acordo com as médias e medianas obtidas nas duas campanhas, é possível concluir que os teores de bicarbonato são maiores no período chuvoso, refletindo efeito da sazonalidade. Isso faz sentido, porque no período chuvoso as águas de chuvas são ricas em dióxido de carbono (CO₂), que reagindo com a água do aquífero produz o ácido carbônico, que por sua vez se dissocia em bicarbonato, fazendo com esse íon tenda a ser mais abundante no período chuvoso.

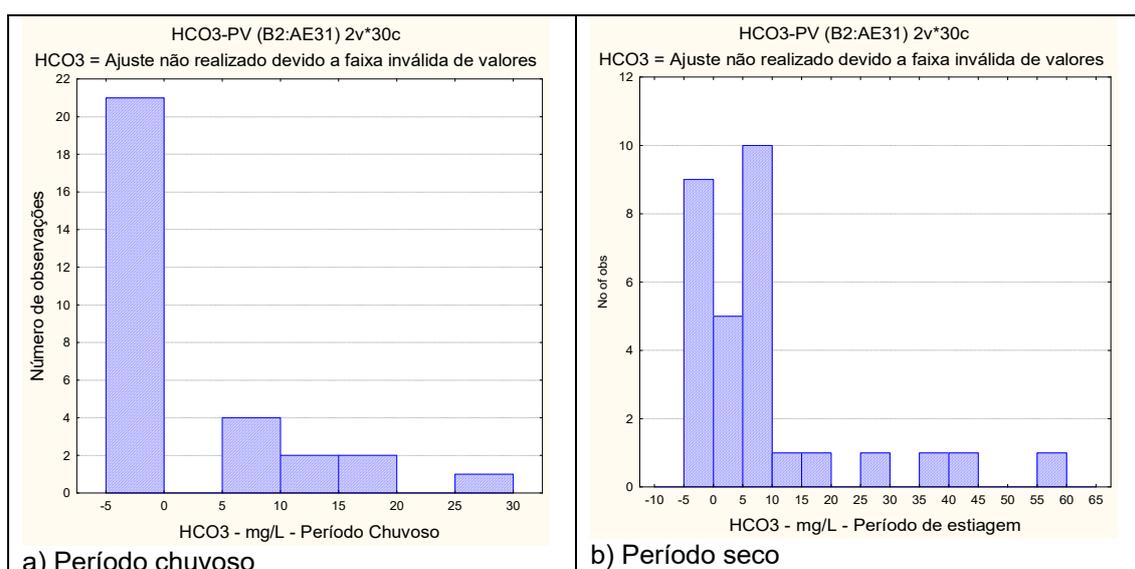


Figura 4.19 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do bicarbonato Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Lopes *et al.* (2013), os valores extremamente baixos de bicarbonato podem estar relacionados com as variações da alcalinidade total, uma vez que uma alteração nas concentrações dos íons carbonato e bicarbonato provoca também alterações nos valores de pH de uma solução, já que esses três íons (H⁺, CO₃²⁻ e HCO₃⁻) constituem um verdadeiro sistema em equilíbrio. Assim, a reação entre os dois primeiros, com a formação do terceiro, provoca uma diminuição das concentrações do carbonato e um aumento das concentrações do bicarbonato, o que torna o processo dinâmico e faz com que um elemento

seja facilmente convertido em outro por meio de reações que ocorrem no ambiente.

Para Obiefuna & Sheriff (2011), a origem do bicarbonato nas águas subterrâneas está relacionada principalmente aos processos que produzem o gás carbônico no solo por meio da decomposição e oxidação da matéria orgânica e à respiração das raízes das plantas.

4.8.10 – Dureza

A estatística descritiva da dureza das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (**tabela 4.42**) mostra que no período chuvoso os valores oscilaram entre 0,519 e 78,9 mg/L, com média de 10,16 mg/L e mediana de 4,5 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 0,099 a 15,59 mg/L, com média de 4,07 mg/L e mediana de 3,04 mg/L.

Tabela 4.42 – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

Dureza	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
D-1	30	10,16	3,80	16,54	4,50	0,519	78,90	17,09	3,12	3,22
D-2	30	4,07	2,68	5,46	3,04	0,099	15,59	3,72	0,68	1,43

Segundo a classificação de Von Sperling (2005) descrita no **item 2.10**, as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso são 93% (28/30) do tipo mole e 7% (2/30) do tipo moderada; enquanto que no período de estiagem as águas são 100% (30/30) do tipo mole. Isto provavelmente se deve ao clima da região amazônica, no qual as chuvas são muito frequentes, e há uma constante renovação das águas, o que favorece a baixa mineralização.

Os valores anômalos apresentados são atribuídos a contaminações oriundas de atividades antrópicas. Nas duas campanhas, nenhum dos poços amostrados ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO₃ (**item 2.10**).

Os histogramas de frequência de dureza das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho e as curvas de distribuição de probabilidade ajustadas para o período chuvoso (abril de 2012) e para o período de estiagem (outubro de 2012) podem ser visualizadas na **figura 4.20**.

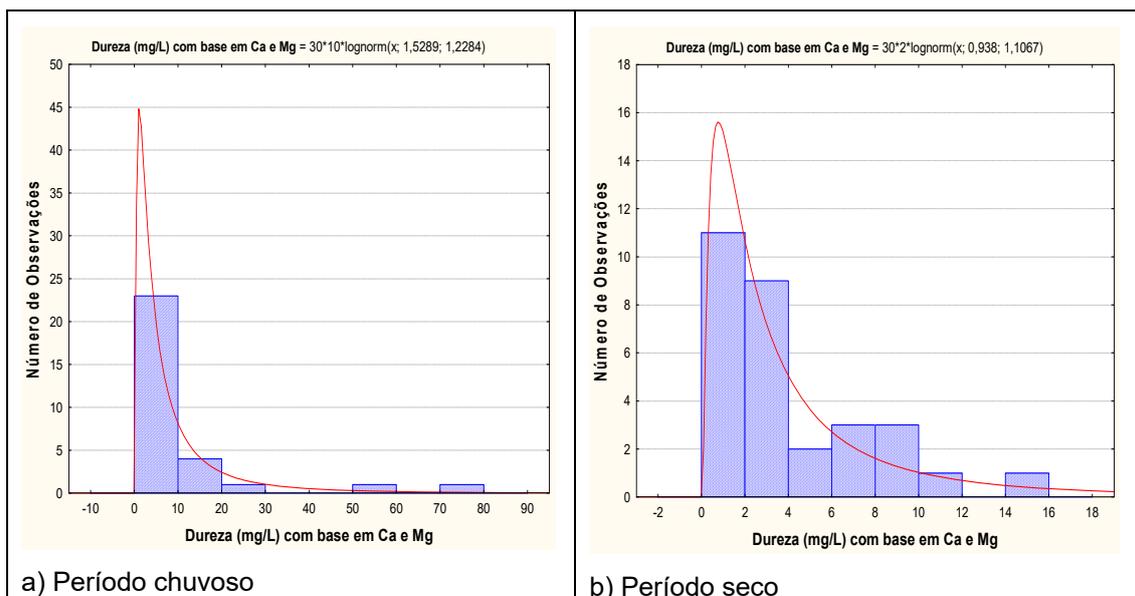


Figura 4.20 – Histograma de frequência e curvas ajustadas (lognormal e normal) de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 4.43**) que os valores de dureza estimados no período chuvoso são superiores aos do período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um).

De acordo com Leprun *et al.* (1989), os solos mais ricos provenientes das rochas cristalinas e os menos intemperizados vão dar a maior quantidade de sílica nas águas, assim como, a maior quantidade de cátions Ca^+ , Mg^+ , K^+ e Na^+ . Isto justifica o fato das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho apresentarem teores de dureza mais elevados no período chuvoso, no qual esses processos ocorrem mais fortemente.

Tabela 4.43 – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
D-1	4,613	1,641	0,956	0,612	0,370	0,265
D-2	2,555	1,007	0,619	0,414	0,263	0,195
Razão	1,806	1,630	1,545	1,478	1,406	1,361

4.8.11 – Compostos Nitrogenados

4.8.11.1 - Nitrato

A **tabela 4.44** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variam de 0,099 a 11,10 mg/L, com média de 2,29 mg/L e mediana igual a 1,238 mg/L. No período seco, os teores variam de 0,099 a 12,58 mg/L, com média de 1,28 mg/L e mediana de 0,621 mg/L.

Tabela 4.44 – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	30	2,29	1,20	3,43	1,238	0,099	11,10	3,04	0,56	1,89
N-2	30	1,28	0,38	2,18	0,621	0,099	12,58	2,41	0,44	4,04

Em ambas as campanhas, 20% (6/30) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L.

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 7% (2/30) dos poços no período chuvoso e 3% (1/30) no período de estiagem, apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.11**). Contudo, todas as amostras analisadas nas duas campanhas poderiam ser utilizadas para a dessedentação animal, haja vista que não ultrapassaram os limites definidos pela Resolução citada. A presença de nitrato em ambas as campanhas no poço PVH22 provavelmente se deve a contaminações locais oriundas de fossas situadas nas proximidades.

Os histogramas de frequência dos teores de nitrato ilustrados na **figura 4.21** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal.

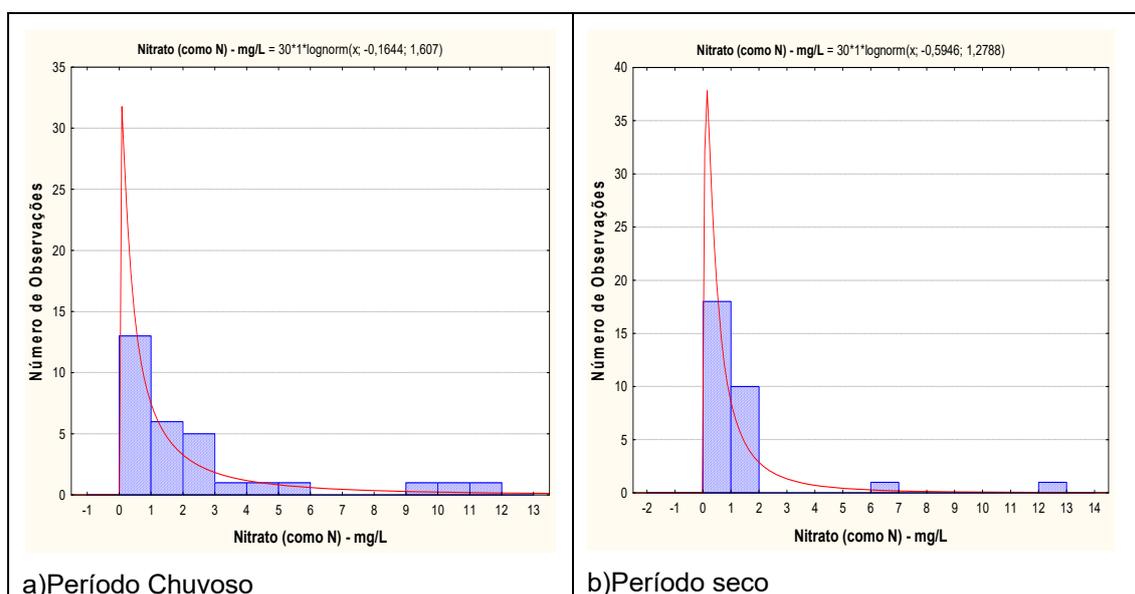


Figura 4.21 – Histogramas de frequência e curvas lognormais ajustadas de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp revela um viés estatístico para nitrato com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 4.45**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que os valores de nitrato no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

Tabela 4.45 – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,848	0,219	0,108	0,060	0,031	0,020
N-2	0,552	0,188	0,107	0,067	0,040	0,028
Razão	1,538	1,166	1,009	0,896	0,784	0,716

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato, que possui grande mobilidade no solo, alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando. O nitrato por possuir essas características se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

Diante disso, fica evidente que os valores de nitrato encontrados nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho superiores aos limites permitidos para consumo humano se devem a contaminação oriunda principalmente da ausência de saneamento básico, haja vista em muitos casos, a proximidade das fossas com os poços.

4.8.11.2 - Nitrito

A **tabela 4.46** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrito presentes nas águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, nas duas campanhas de amostragem realizadas. No período chuvoso (abril de 2012), todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite de detecção, ou seja, 100% (30/30) com resultados inferiores a 0,02 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), 87% (26/30) dos poços amostrados tiveram concentrações de nitrito abaixo do limite de quantificação de 0,02 mg/L. Portanto, de modo geral, a ocorrência de nitrogênio sob a forma de nitrito é praticamente desprezível, haja vista que o maior valor encontrado foi de 0,085 mg/L na segunda campanha.

Tabela 4.46 – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrito	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	30	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	7,06E-18	1,28E-18	-1,05
N-2	30	0,023	0,0179	0,029	0,019	0,019	0,085	0,0157	0,00287	3,63

Todas as amostras analisadas nas duas coletas apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, assim como, poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, em relação a esse parâmetro (**item 2.11**).

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlfs (2010) nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores geralmente abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

Os histogramas de frequência dos teores de nitrito ilustrados na **figura 4.22** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal.

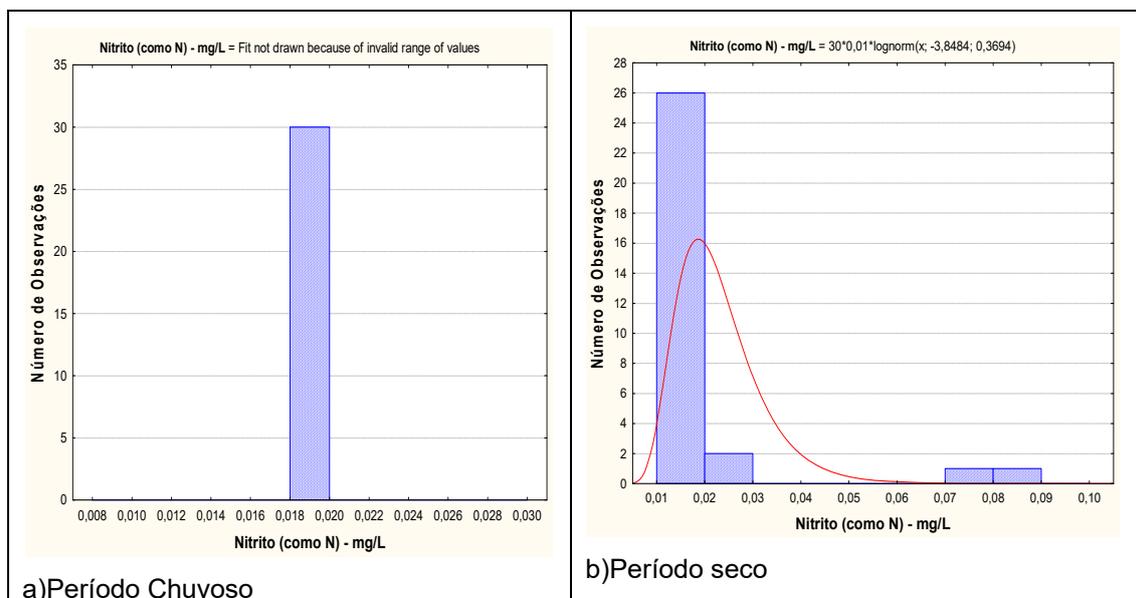


Figura 4.22 – Histogramas de frequência e curvas lognormais ajustadas de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp revela um viés estatístico para nitrito com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 4.47**). Sendo assim, com base nos dados de média e valores máximos observa-se que os teores de nitrito no período seco são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade

Contudo, entende-se que tal resultado não condiz com a realidade, pois 100% das amostras na primeira e 87% na segunda campanha apresentaram valores abaixo do limite de detecção.

Os 13% (4/30) das amostras que apresentaram teor de nitrito se devem provavelmente a influência de atividade antrópica, principalmente ausência de esgotamento sanitário, haja vista que na área de estudo, os poços são locados próximos a fossas. Além disso, a presença de nitrito nas águas subterrâneas é indicativo de contaminação local, onde a reação de nitrificação, que converte nitrito em nitrato não foi completa, no momento da segunda campanha.

Tabela 4.47 – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
N-2	0,0213	0,0156	0,0133	0,0116	0,0100	0,0090
Razão	0,89	1,22	1,43	1,64	1,90	2,11

4.8.11.3 - Amônia

A **tabela 4.48** mostra a estatística descritiva dos teores de amônia presentes nas águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de amônia variam de 0,09 a 1,5 mg/L, com média de 0,14 mg/L e mediana de 0,09 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 2,0 mg/L, com média de 0,19 mg/L e mediana de 0,09 mg/L.

Tabela 4.48 – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

Amônia	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
A-1	30	0,14	0,04	0,23	0,09	0,09	1,50	0,26	0,05	5,48
A-2	30	0,19	0,05	0,32	0,09	0,09	2,00	0,36	0,06	4,93

Na coleta de abril de 2012, 97% (29/30) das amostras apresentaram valores de amônia inferiores ao limite de detecção de 0,1 mg/L; enquanto que na coleta de outubro de 2012, 80% (24/30) dos poços tiveram resultados de amônia abaixo do limite de detecção. Em ambas as campanhas 3% (1/30) das amostras analisadas apresentaram valores de amônia que ultrapassaram o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L (**item 2.11**). Os poços que apresentaram tais teores foram PVH17 e PVH38, respectivamente na primeira e segunda campanha.

Os histogramas de frequência de amônia (**figura 4.23**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal.

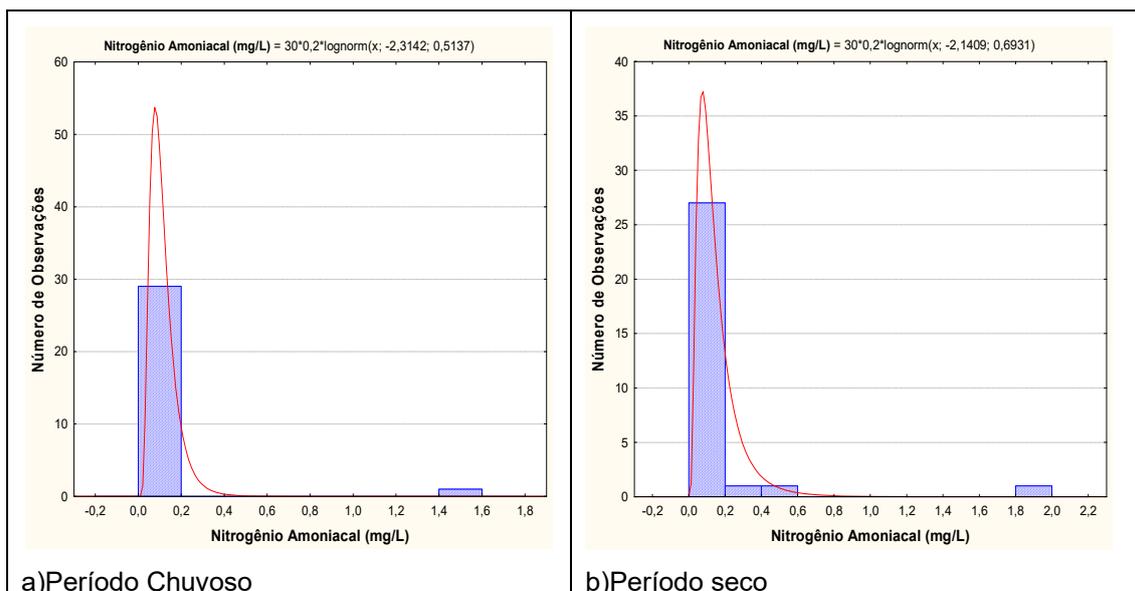


Figura 4.23 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp revela um viés estatístico para amônia com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 4.49**). Sendo assim, com base nos dados de média e valores máximos observa-se que os teores de amônia no período seco são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade

Contudo, acredita-se que tal premissa não é coerente, haja vista que cerca de 97% e 80% das amostras, respectivamente na primeira e segunda campanha apresentaram teores de amônia abaixo do limite de detecção. Dessa forma, supõe-se que a presença de amônia se deve exclusivamente a influência antrópica e não sazonal, pois de acordo com Resende (2002), a amônia (NH_3) originada no solo ou aplicada via fertilizantes tende a ser rapidamente convertida em amônio (NH_4^+) e esse, por sua vez, é convertido em nitrato pelo processo microbiano da nitrificação.

Por esse motivo, os teores de amônia obtidos nas duas campanhas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho foram muito baixos, pois provavelmente a amônia existente proveniente dos dejetos das fossas sépticas está sendo convertida em nitrato, o que justifica alguns teores de nitrato superiores ao padrão de potabilidade permitido pela Portaria MS 2914/2011.

Tabela 4.49 – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
A-1	0,098845	0,064149	0,051174	0,042461	0,034417	0,029919
A-2	0,117549	0,065597	0,048357	0,037593	0,028315	0,02344
Razão	0,84	0,98	1,06	1,13	1,22	1,28

4.8.12 – Ferro e Manganês

4.8.12.1 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (**tabela 4.50**) mostra no período chuvoso valores compreendidos entre 0,003 e 20,4 mg/L, com média de 0,81 mg/L. No período seco os valores oscilaram entre 0,0009 a 2,99 mg/L, com média de 0,24 mg/L. Em ambos os períodos de coleta, a mediana é igual a 0,04 mg/L.

Tabela 4.50 – Estatística descritiva do Ferro (mg/L) do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

Fe	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Fe-1	30	0,81	-0,6	2,19	0,04	0,003	20,4	3,72	0,68	5,42
Fe-2	30	0,24	0,02	0,46	0,04	0,0009	2,99	0,58	0,11	4,16

Na segunda campanha, 7% (2/30) das amostras apresentaram teores de ferro abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 13% (4/30) dos poços no período chuvoso e 17% (5/30) no período de estiagem apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.12**), além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Além disso, 3% (1/30) dos poços amostrados na primeira campanha apresentaram teores de ferro que ultrapassaram os limites recomendados para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Os histogramas de frequência de ferro (**figura 4.24**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar com risco calculado os valores de ferro no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (**tabela 4.51**), onde se verificou que os teores no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que indica influência de sazonalidade, pois a razão das duas campanhas é inferior a 1 (um).

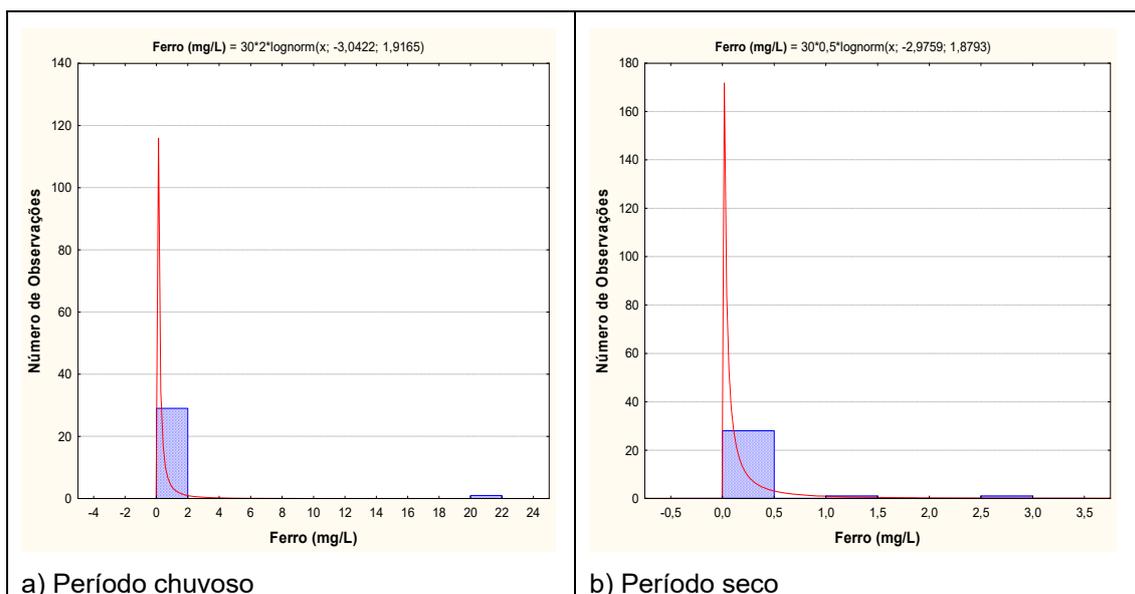


Figura 4.24 – Histogramas de frequência e curvas lognormais de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

No caso do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho os valores de ferro mais elevados na estiagem são consistentes, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que, conseqüentemente, eleva o valor de Eh produzindo a oxidação do ferro.

Tabela 4.51 – Distribuição de probabilidade do Ferro (mg/L) do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Fe-1	0,04773	0,00951	0,00409	0,00204	0,00093	0,00055
Fe-2	0,05100	0,01049	0,00459	0,00232	0,00108	0,00064
Razão	0,94	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86

De modo geral, os aquíferos da PHA apresentam altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea, os quais resultam principalmente das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas, conforme descrito no **item 2.12**.

4.8.12.2 – Manganês

A estatística descritiva das concentrações de manganês nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (**tabela 4.52**) revela que os teores de manganês no período chuvoso variam de 0,0001 a 0,480 mg/L, com média de 0,035 mg/L e mediana igual a 0,006 mg/L. No período seco, os valores ficam entre um mínimo de 0,0009 e um máximo de 0,075 mg/L, sendo a média igual a 0,018 mg/L e a mediana igual a 0,009 mg/L.

Tabela 4.52 – Estatística descritiva do Manganês (mg/L) do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

Mn	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mn-1	30	0,035	0,002	0,068	0,006	0,00009	0,480	0,090	0,016	4,576
Mn-2	30	0,018	0,010	0,025	0,009	0,0009	0,075	0,020	0,004	1,209

Na primeira campanha, 3% (1/30) das amostras apresentaram teores de manganês abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L; enquanto que na segunda campanha, 30% (9/30) dos poços obtiveram valores abaixo do limite quantificável de 0,001 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Observou-se que 7% (2/30) dos poços na primeira campanha apresentaram teores de manganês acima do VMP de 0,1 mg/L estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, bem como ultrapassaram os limites previstos na Resolução CONAMA 396/2008, no que se refere aos usos da água para consumo humano e recreação (**item 2.12**).

Além disso, 17% (5/30) dos poços amostrados no período chuvoso e 3% (1/30) dos poços no período de estiagem apresentaram teores de manganês que ultrapassaram os limites recomendados para dessedentação animal, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Apenas 3% (1/30) dos poços no período chuvoso ultrapassaram o limite recomendado para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Os histogramas de frequência de manganês (**figura 4.25**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os valores de manganês no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (**tabela 4.53**), onde ocorreu bias estatístico indicando com risco de 50% os maiores valores no período chuvoso, enquanto que com riscos de 20, 10, 5, 2 e 1%, os maiores teores ocorrem no período seco, o que reflete alguma influência de sazonalidade.

Isso é justificável, pois a maior presença de oxigênio na zona não saturada no período de estiagem dá lugar a oxidações do manganês, aumentando a sua concentração na zona saturada.

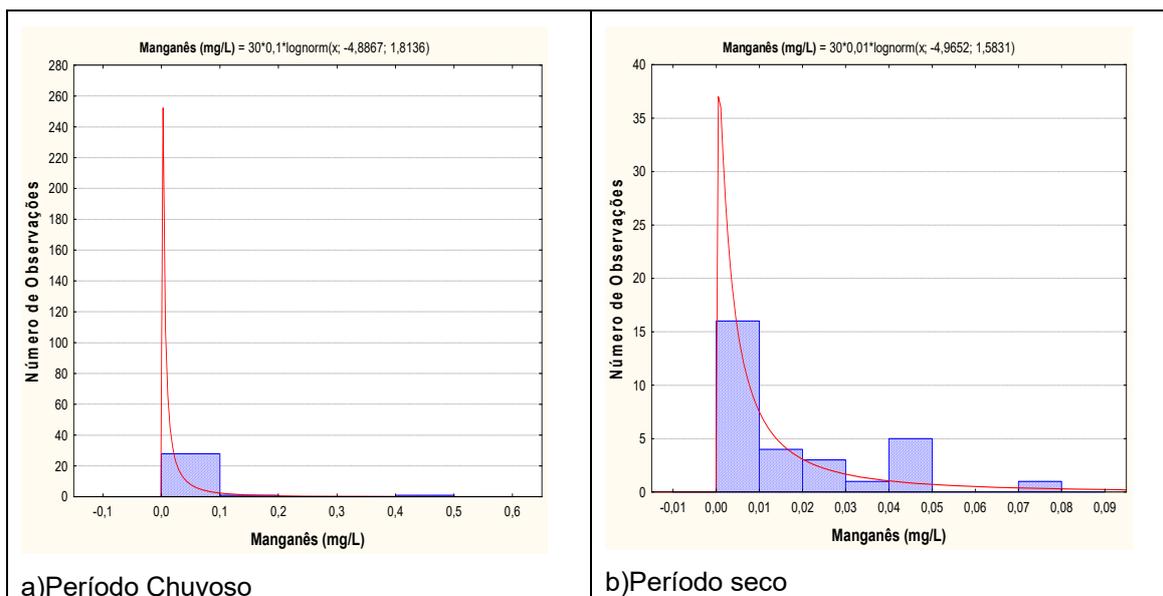


Figura 4.25 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De acordo com Feitosa *et al.* (2008), o manganês frequentemente está presente com baixos teores, <0,2 mg/L em quase todas as águas naturais, sendo mais abundante nas águas ácidas. Isso corrobora com os dados do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, onde no período de estiagem, as águas são mais ácidas, com pH médio de 5,1, e conseqüentemente ocorrem teores mais elevados de manganês quando comparados ao período chuvoso.

Tabela 4.53 – Distribuição de probabilidade do Manganês (mg/L) do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mn-1	0,00755	0,00164	0,00074	0,00038	0,00018	0,00011
Mn-2	0,00698	0,00184	0,00092	0,00052	0,00027	0,00018
Razão	1,08	0,89	0,80	0,74	0,67	0,63

4.8.13 – Metais Pesados

Os resultados analíticos de metais pesados das amostras de água do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, coletadas durante a segunda campanha de amostragem realizada em outubro de 2012, podem ser observados no **anexo 12.2.3**. Os metais pesados analisados foram: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco. Como esses parâmetros apresentam risco à saúde humana, a Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram limites máximos de padrão de potabilidade, conforme descrito no **item 2.13**.

Arsênio

Todos os 11 (onze) poços amostrados apresentaram valores de arsênio abaixo do limite de detecção, ou seja, resultados <0,001 mg/L.

Bário

Dentre as 11 (onze) análises de amostras de água do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, apenas 1 (uma) apresentou teor de bário abaixo do limite de detecção de 0,001mg/L, ou seja, foi detectada a presença de bário em 90% (10/11) dos poços. Os teores encontrados variaram de 0,003 a 0,0667 mg/L. Nenhuma das amostras analisadas ultrapassou o limite organoléptico de potabilidade estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**), bem como poderia ser indicada para consumo humano e recreação, segundo os padrões definidos na resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**).

Cádmio

As 11 (onze) análises realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho apresentaram teores de cádmio abaixo dos limites de detecção de 0,001 mg/L.

Chumbo

Todas as amostras analisadas na segunda campanha, 100% (11/11) apresentaram teores de chumbo inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L.

Cobre

As análises indicaram que 55% (6/11) das amostras apresentaram teores de cobre abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L, enquanto que os 45% (5/11) restantes obtiveram resultados de cobre que variaram de 0,00259 a 0,0286 mg/L. Os teores encontrados em todos os poços estão abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.5**), assim como dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação.

Cromo

As 11 (onze) amostras analisadas apresentaram teores de cromo abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Mercúrio

Todas as 11 (onze) amostras analisadas apresentaram teores de mercúrio abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L.

Níquel

As análises indicaram que 100% (11/11) das amostras apresentaram teores de níquel abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Zinco

No aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho verificou-se que 18% (2/11) das análises apresentaram teores de zinco abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L; enquanto que nos 82% (9/11) restantes foi detectada a presença de zinco, com teores que ficaram compreendidos entre 0,0045 e 0,0403 mg/L. Apesar de 9 (nove) amostras apresentarem presença de zinco, todas estavam com valores abaixo do VMP de potabilidade definido pela Portaria MS

2914/2011 (**tabela 2.5**), bem como, dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.6**), indicando que as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho poderiam ser utilizadas para todos os usos nela prescritos sem restrições.

4.8.14 – BTEX e Fenóis

4.8.14.1 – BTEX

O grupo de compostos BTEX formado pelo **B**enzeno, **T**olueno, **E**tilbenzeno e **X**ilenos (**o**rto, **m**eta e **p**ara) são extremamente tóxicos à saúde humana, apresentando toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações, podendo levar a lesões do sistema nervoso central.

Devido ao risco potencial a saúde humana que esse grupo de compostos oferece, a Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram limites para que a água seja considerada potável, como pode ser observado no **item 2.14.1**.

Na segunda campanha de amostragem das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, realizada em outubro de 2012, verificou-se que todas as 11 (onze) amostras de **B**enzeno, **T**olueno e **E**tilbenzeno, apresentaram teores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Todas as 11 (onze) análises de **X**ilenos composta por **o**,xilenos e **m,p** xilenos apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L e de 0,002 mg/L, respectivamente.

Todas as amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho apresentaram teores de BTEX abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 (**tabela 2.7**), bem como, dentro dos limites da Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas subterrâneas poderiam ser utilizadas para os usos nela prescritos (**tabela 2.8**).

4.8.14.2 – Fenóis

O fenol ($\text{CH}_6\text{H}_5\text{OH}$) é um sólido branco cristalino em seu estado puro. Geralmente é vendido e utilizado na forma líquida, possui odor forte, levemente doce e irritante.

Considerando os efeitos toxicológicos do fenol, a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceu limites máximos aceitáveis para a água subterrânea, de acordo com os usos considerados preponderantes, como pode ser observado no **item 2.14.2**.

No período de estiagem (outubro de 2012), foram realizadas amostragens de água no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho para avaliação dos teores de fenóis, onde se verificou que 55% (6/11) das amostras analisadas apresentaram resultados inferiores ao limite de detecção de 0,001 mg/L, enquanto que os 45% (5/11) restantes dos poços apresentaram valores de fenóis que variaram de 0,0011 a 0,002 mg/L.

De acordo com a resolução CONAMA 396/2008, as águas dos poços amostrados podem ser aproveitadas para todos os usos nela prescritos (**tabela 2.9**), uma vez que não ultrapassaram o VMP de fenóis.

4.8.15 – Isótopos Ambientais

4.8.15.1 – Oxigênio 18 e Deutério

Em hidrologia isotópica, a **equação 2.2** que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig (1961) é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas, conforme pode ser observado no **item 2.15.1**.

Desse modo, a partir da referência supracitada e com base nos resultados das análises (**tabela 4.54**) para o aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, foi elaborado o diagrama (**figura 4.26**) que mostra como a **Linha de Água Subterrânea (LAS)** ou **Reta de Água Subterrânea (RAS)** do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho se desvia muito pouco da **Linha de Água Meteórica Mundial (LMM)**, também chamada de **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, conforme se deduz da menor declividade 7,58 da RAS, contra 8,13 da RMM. Comparando as ordenadas na origem das duas equações, (fazendo $\delta^{18}\text{O} = 0$) verifica-se que:

$$\text{Para a RAS: } \delta^{18}\text{O} = -\frac{10,1}{7,58} = -1,332 \text{ ‰}$$

$$\text{Para a RMM: } \delta^{18}\text{O} = \frac{10,8}{8,13} = -1,328 \text{ ‰}$$

Ocorre uma variação muito pequena de -0,004 na concentração isotópica de $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$ das precipitações, indicando que as águas subterrâneas são provenientes de chuvas, com uma perda muito pequena de apenas 0,3% de $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$ por evaporação (-0,004/-1,328). Ou seja, isto significa que a água de recarga do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho possui 99,7% do conteúdo de $\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$ das águas de chuva e isto confirma que a recarga provém das precipitações e sugere que praticamente não há sinais de recarga fluvial a partir do rio Madeira.

Tabela 4.54 – Valores de oxigênio-18 e deutério dosados nas amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período seco (outubro de 2012).

Poço	$\delta^{18}\text{O} \text{ ‰}$	$\delta\text{D} \text{ ‰}$
PVH13	-6,89	-42,1
PVH24	-8,13	-50,8
PVH35	-7,78	-50,1
PVH39	-7,22	-44,1

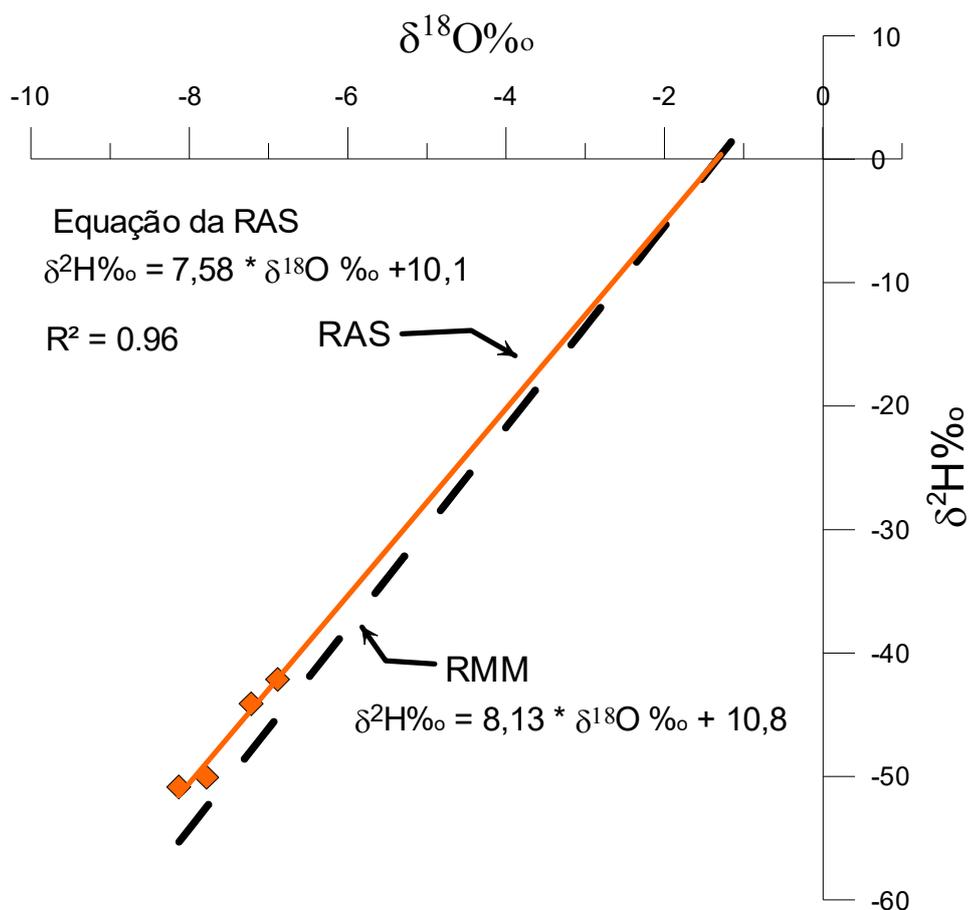


Figura 4.26 – Diagrama mostrando que a água subterrânea do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho contém 99,7% da composição isotópica das águas de chuva, sugerindo que a recarga provém das precipitações, não havendo sinais de recarga fluvial proveniente do rio Madeira.

4.8.15.2 – Trício

Clark & Fritz (1997) realizaram uma proposta de interpretação qualitativa de dados de ^3H para dados de regiões costeiras e de baixa latitude, onde é feita uma relação entre os valores de unidades de trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**), conforme descrito no **item 2.15.2**.

Sendo assim, com base nessa relação e nos dados de ^3H obtidos nas 7 (sete) amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (**figura 4.27**), é possível verificar que o aquífero possui mistura de água submoderna com recarga recente.

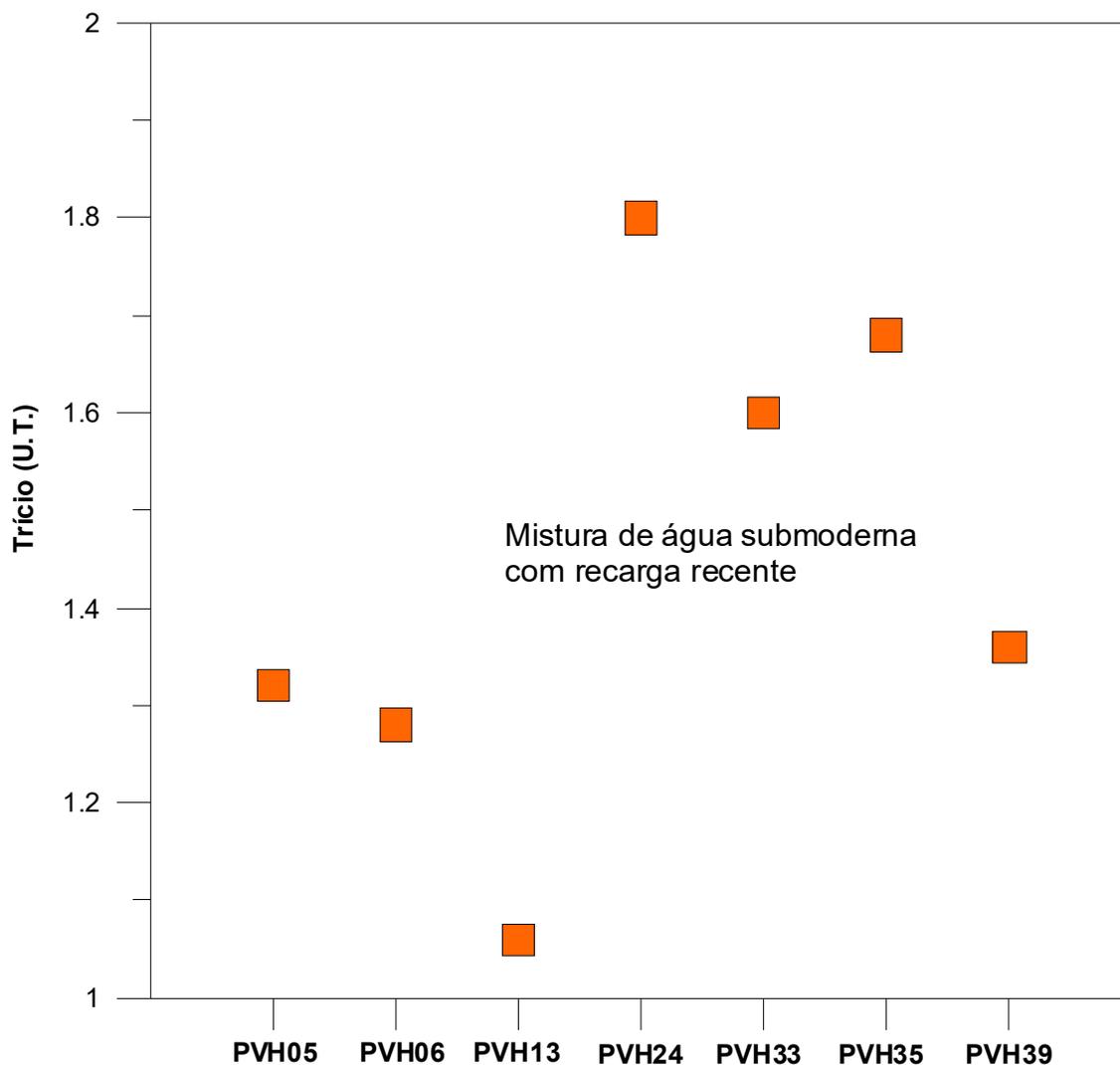


Figura 4.27 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, segundo os dados de trício de 7 (sete) amostras coletadas.

4.8.15.3 – Carbono 14

De acordo com a metodologia proposta por Münnich (1957) descrita no **item 2.15.3** e com base nos dados contidos na **tabela 4.55**, o diagrama da **figura 4.28** indica que no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho há presença de água moderna no poço PVH36 (109,2 pMC), ou seja, água com tempo de residência inferior a 200 anos, o que é coerente com a natureza aluvial dos sedimentos pleistocênicos/holocênicos indiferenciados da zona urbana.

Tabela 4.55 – Idade aparente ou convencional do radiocarbono (^{14}C) em anos BP (*before present* – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (*percent modern carbon*).

Resultado	PVH36
Idade Aparente C14 (Fração Moderna)	109,2+/-0,4 pMC
Fmdn- fração de carbono moderno	0,9876 +/-0,0042
Razão C13/C12 (‰)	-25

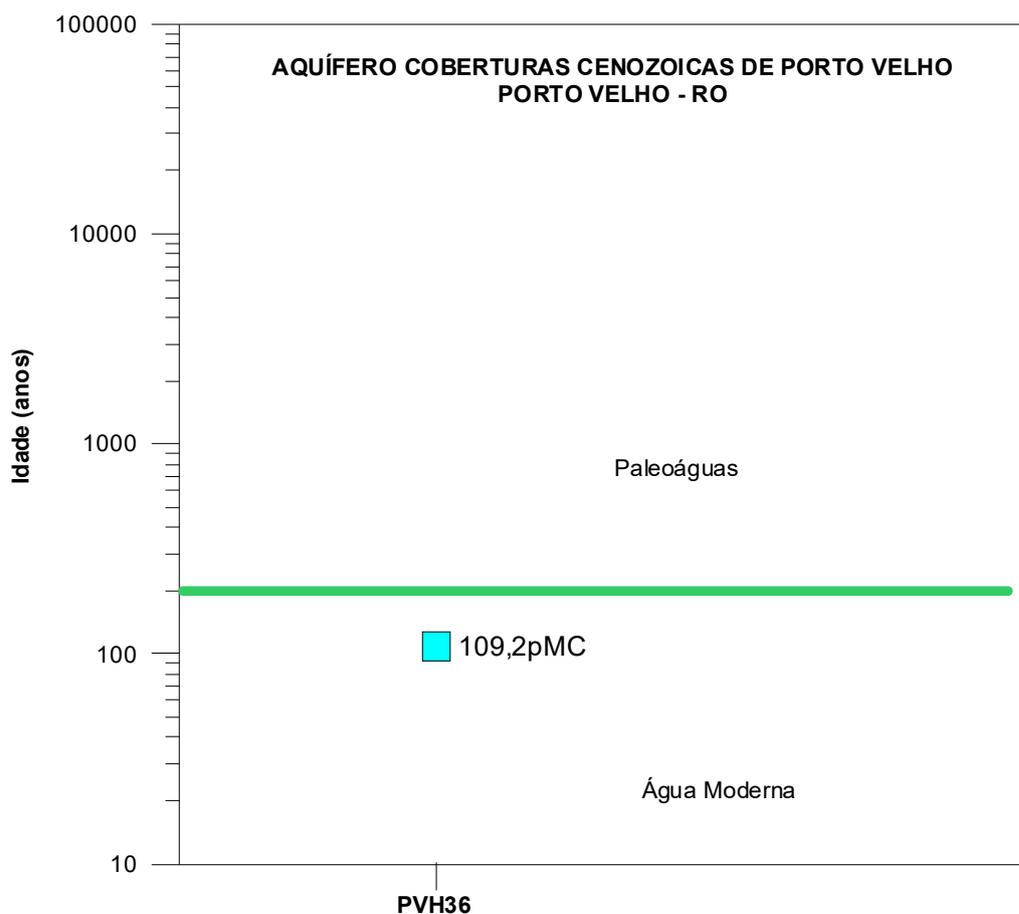


Figura 4.28 – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

4.8.15.4 - Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no âmbito desse projeto permitiram alcançar os seguintes resultados:

- As análises de Oxigênio-18 e Deutério levaram a concluir que a recarga do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho provém de águas meteóricas, ou seja, águas de chuva com 0,3% de perda de $\delta^{18}\text{O}$ por evaporação;

- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) e indicaram que as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho têm mistura de água submoderna com recarga recente;
- A datação radiométrica de Carbono-14 revelou a presença de água moderna (109,2 pMC), com menos de 200 anos BP.

4.8.16 – Parâmetros Biológicos

Coliformes Totais

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano, a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho apresentaram em 43% (13/30) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 70% (21/30) das amostras.

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, 57% (17/30) dos poços na primeira campanha e 30% (9/30) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano, o que é extremamente preocupante, haja vista que a população da área de estudo utiliza a água dos poços para todos os usos, principalmente o doméstico.

Tais resultados ocorrem no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, pois a área de estudo está inserida numa região bastante urbanizada e que não possui sistema de esgotamento sanitário, o que segundo Zoby (2008) é extremamente preocupante, pois a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

Escherichia Coli

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho apresentaram em 10% (3/30) dos casos a presença

de *E. coli*, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 13% (4/30) das amostras.

Com base nos resultados das análises, verifica-se que 90% (27/30) dos poços na primeira campanha e 87% (26/30) na segunda campanha apresentaram padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como, nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as suas águas podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**).

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo, da falta de manutenção do reservatório, localização inadequada do poço e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

Dessa forma, fica evidente que a presença de *E. coli* no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho se deve provavelmente ao lançamento de esgoto *in natura*, que infiltra no solo e contribui para a contaminação do lençol freático, o que é extremamente preocupante, pois pode acarretar na população doenças de veiculação hídrica, tais como, amebíase, giardíase, gastroenterite, febres tifoide e paratifoide, hepatite infecciosa e cólera.

4.8.17 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho Segundo a Composição Química

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e até polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, com base nos dados coletados na rede de 30 (trinta) poços de monitoramento, em duas campanhas: a primeira, no período chuvoso (abril de 2012) e a segunda no período de estiagem (outubro de 2012).

4.8.17.1 – Diagrama Triangular de Piper

Período chuvoso

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 4.29**, é possível identificar que as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período chuvoso de abril de 2012, no que se refere aos ânions são 56,7% (17/30) cloretadas, 36,7% (11/30) bicarbonatadas, 3,3% (1/30) sulfetada e 3,3% (1/30) mista (**tabela 4.56**). Já no que concerne a

presença de cátions, as águas são 73,3% (22/30) sódicas, 13,3% (4/30) mistas e 13,3% (4/30) cálcicas, como demonstra a **tabela 4.56**.

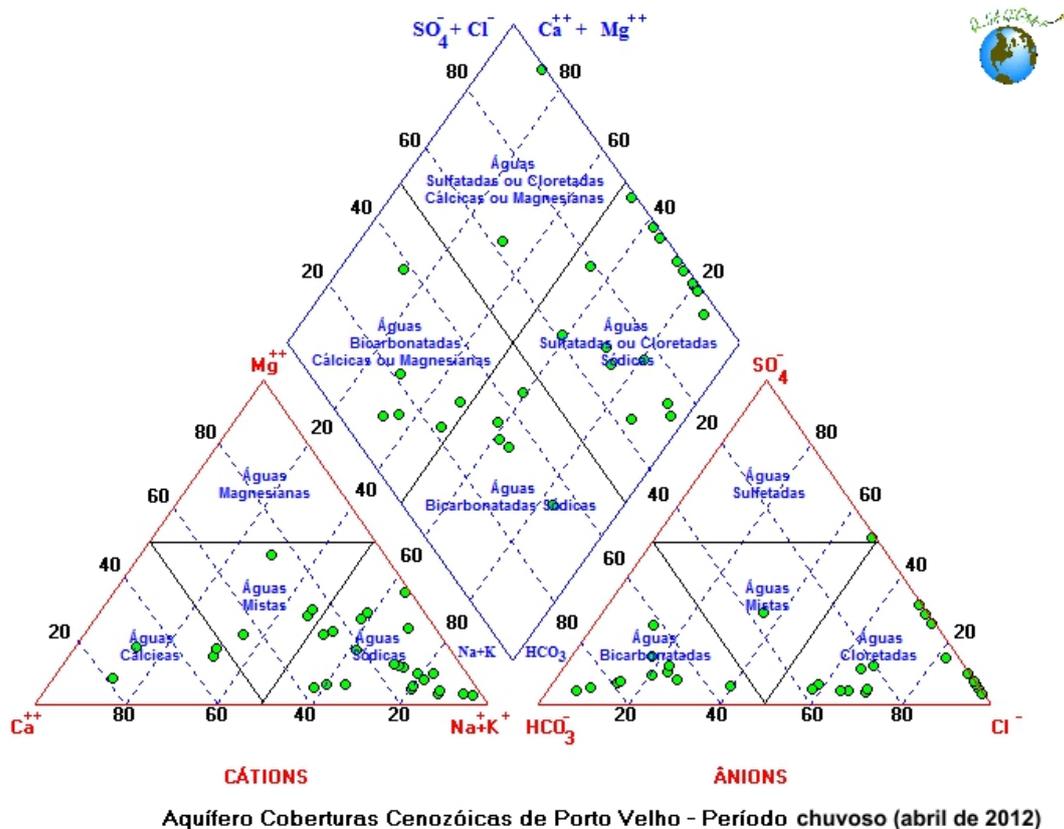


Figura 4.29 – Classificação das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.

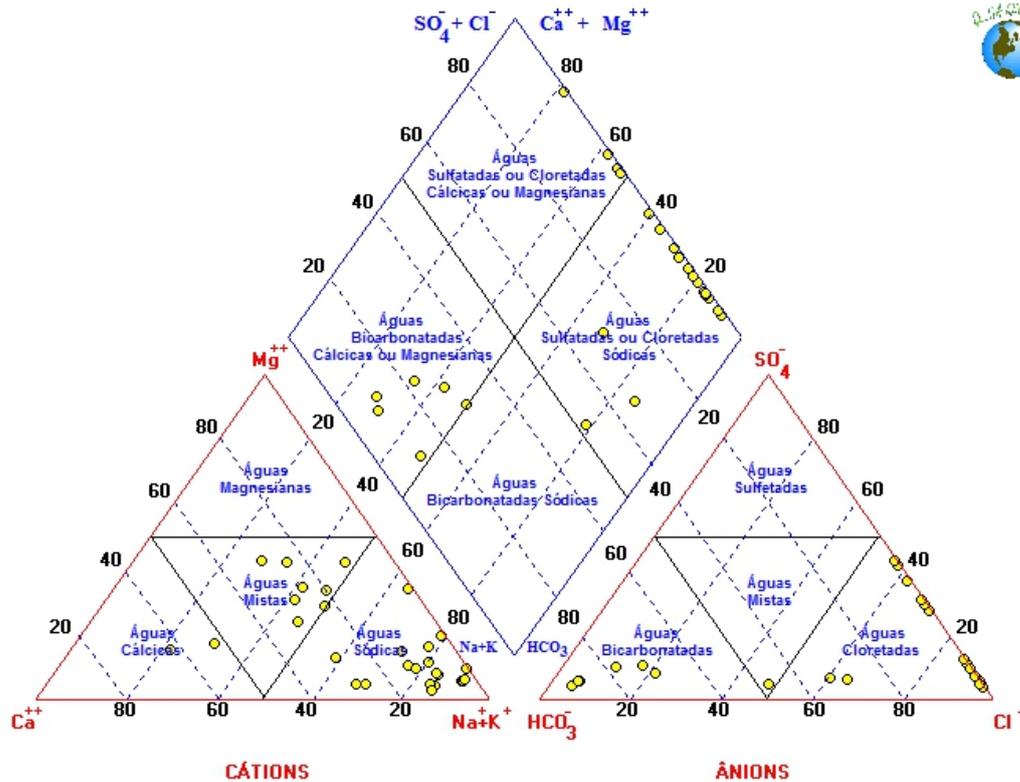
Com base nos dados apresentados na **tabela 4.56**, é possível afirmar que no período chuvoso (abril de 2012), de modo geral, há quatro classes de águas nas amostras coletadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho: cloretadas sódicas (56,7%), bicarbonatadas cálcicas (20%), bicarbonatadas sódicas (16,7%) e cloretadas cálcicas (6,7%).

Tabela 4.56 - Classificação das Águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).

Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfetadas	1	3,3	Águas Cloretadas Cálcicas	2	6,7
Águas Cálcicas	4	13,3	Águas Bicarbonatadas	11	36,7	Águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas	6	20
Águas Sódicas	22	73,3	Águas Cloretadas	17	56,7	Águas Bicarbonatadas Sódicas	5	16,7
Águas Mistas	4	13,3	Águas Mistas	1	3,3	Águas Cloretadas Sódicas	17	56,7

Período de estiagem

De acordo com a **figura 4.30** e **tabela 4.57** verifica-se que as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, no período seco de outubro de 2012, quanto à presença de ânions, são 76,7% (23/30) cloretadas, 20% (6/30) bicarbonatadas e 3,3% (1/30) mistas. Com relação aos cátions é possível identificar que 66,7% (20/30) das águas são sódicas, 26,7% (8/30) são mistas e 6,7% (2/30) são cálcicas.



Aquífero Coberturas Cenozóicas de Porto Velho - Período seco (outubro de 2012)

Figura 4.30 – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.

Mediante análise dos dados da **tabela 4.57** é possível afirmar que no período de estiagem (outubro de 2012), de modo geral, as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho se classificam em cloretadas sódicas (66,7%), bicarbonatadas cálcicas (20%) e cloretadas cálcicas (13,3%).

Tabela 4.57 - Classificação das Águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).

Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfetadas	0	0	Águas Cloretadas Cálcidas	4	13,3
Águas Cálcidas	2	6,7	Águas Bicarbonatadas	6	20	Águas Bicarbonatadas Cálcidas ou Magnesianas	6	20
Águas Sódicas	20	66,7	Águas Cloretadas	23	76,7	Águas Bicarbonatadas Sódicas	0	0
Águas Mistas	8	26,7	Águas Mistas	1	3,3	Águas Cloretadas Sódicas	20	66,7

Nas duas campanhas de amostragem verificou-se que a composição química das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho apresenta na maioria das amostras águas *Cloretadas Sódicas* e que este padrão não se modifica com a sazonalidade.

4.8.17.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012, em 30 poços situados na região do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos os íons predominantes no local.

Período chuvoso

Os resultados da primeira campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 4.58**.

Tabela 4.58 - Classificação das Águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Cloretada Sódica	16	53,3
Água Bicarbonatada Sódica	7	23,3
Água Bicarbonatada Magnesiana	1	3,3
Água Bicarbonatada Cálcida	4	13,3
Água Sulfetada Sódica	1	3,3
Água Cloretada Cálcida	1	3,3

Verificou-se que as amostras do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho coletadas no período chuvoso, em abril de 2012, são 53,3% (16/30) cloretadas sódicas (**figura 4.31a**); 23,3% (7/30) bicarbonatadas sódicas (**figura 4.31b**); 3,3% (1/30) bicarbonatada magnesiana (**figura 4.31c**); 13,3% (4/30) bicarbonatada cálcica (**figura 4.31d**); 3,3% (1/30) sulfetada sódica (**figura 4.31e**); 3,3% (1/30) cloretada cálcica (**figura 4.31f**).

Tais dados permitem classificar as águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, em abril de 2012, na sua maioria como *Cloretadas Sódicas*.

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

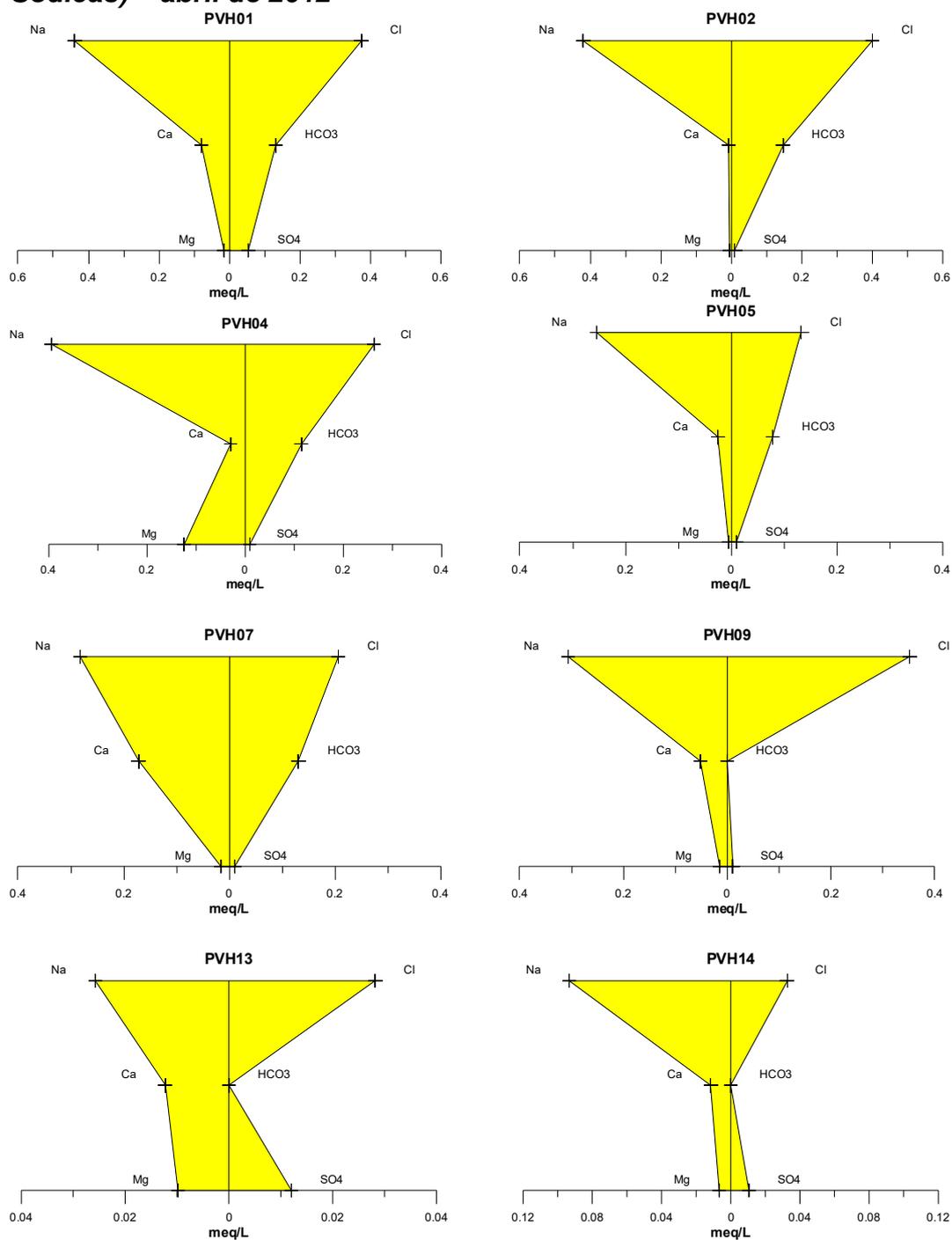


Figura 4.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

Continuação

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

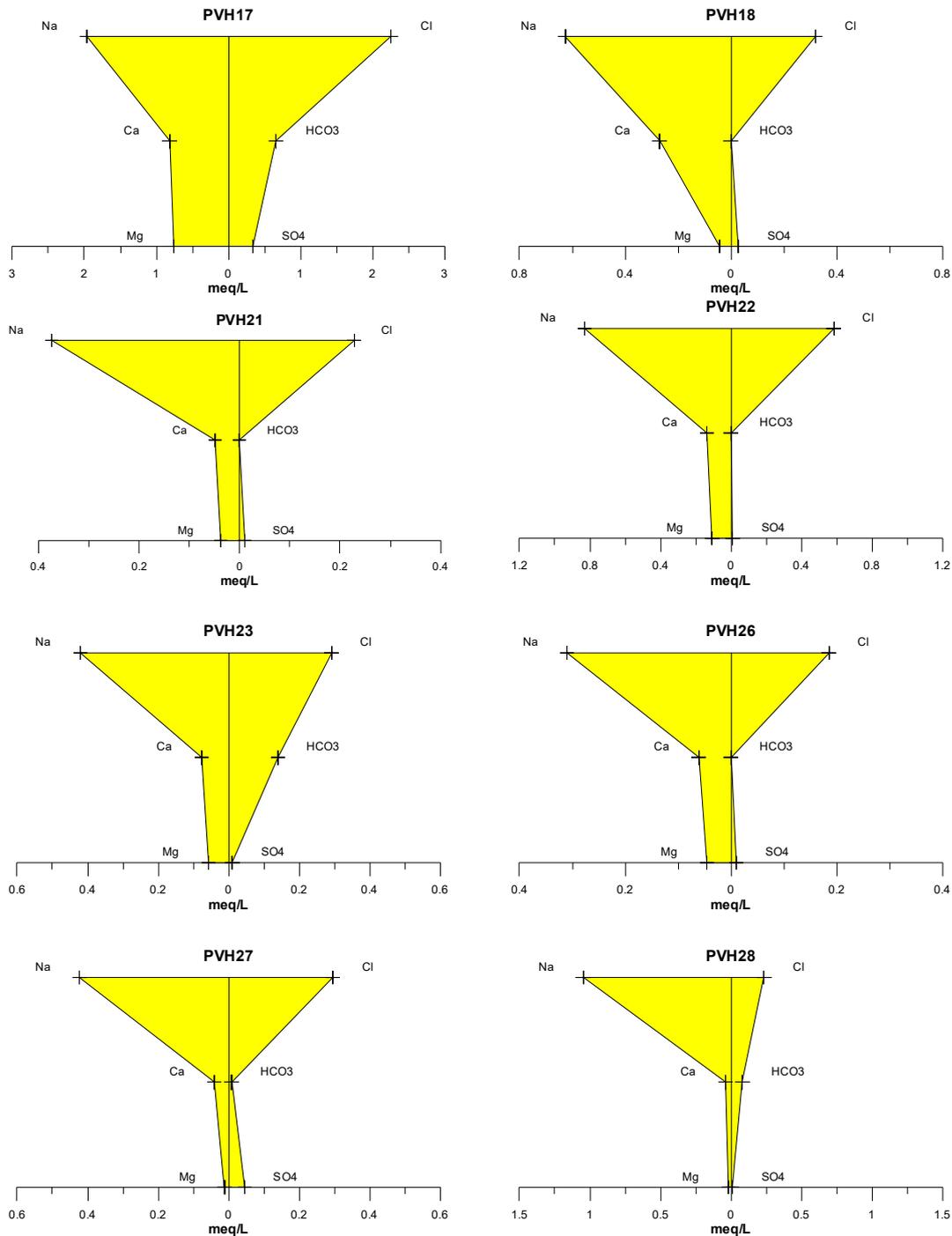


Figura 4.31a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (continuação).

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Águas Bicarbonatadas Sódicas) – abril de 2012

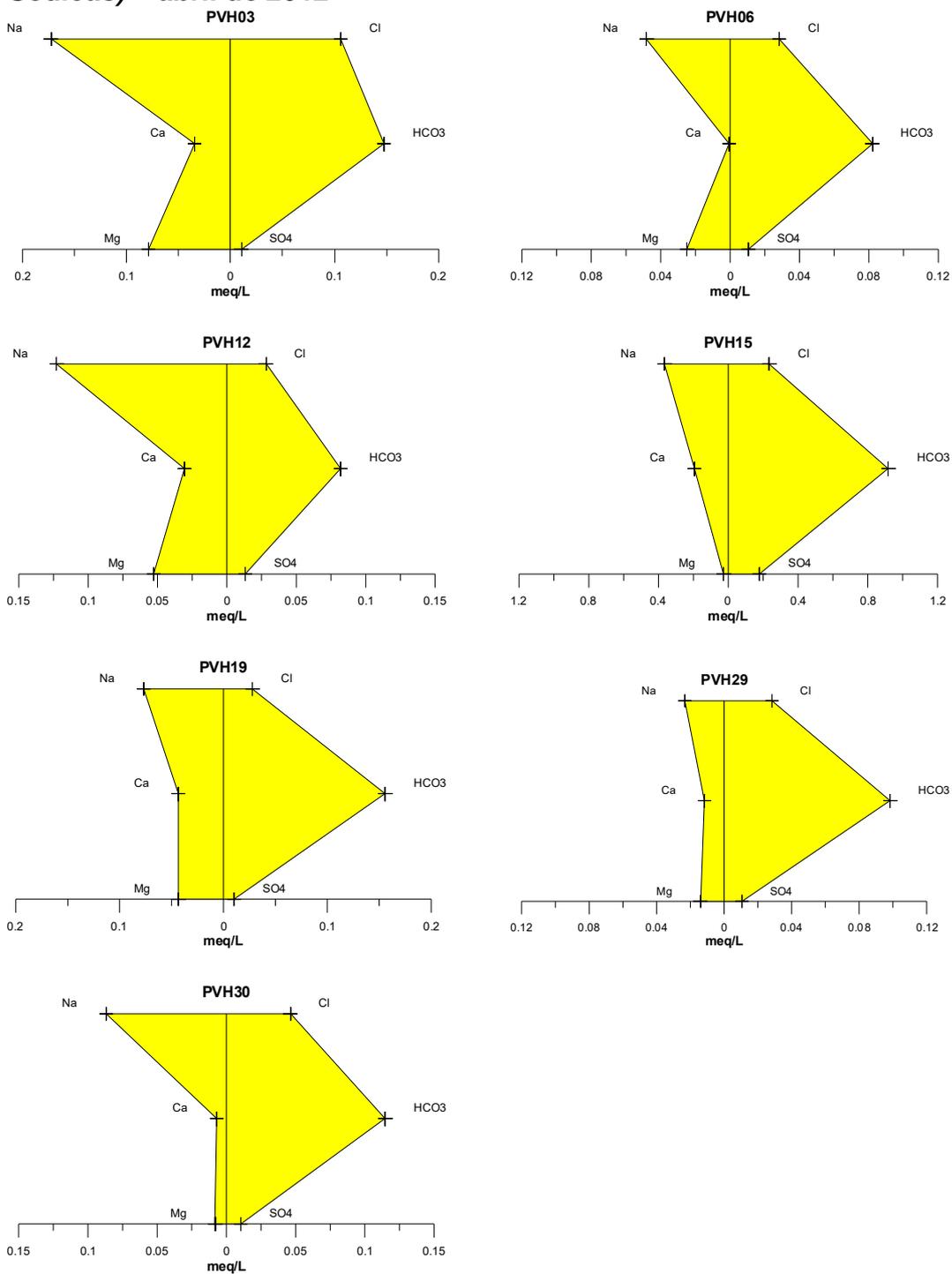


Figura 4.31b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Água Bicarbonatada Magnésiana) – abril de 2012

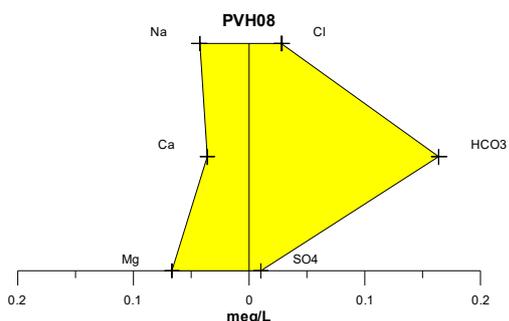


Figura 4.31c – Água bicarbonatada magnésiana classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Águas Bicarbonatadas Cálcica) – abril de 2012

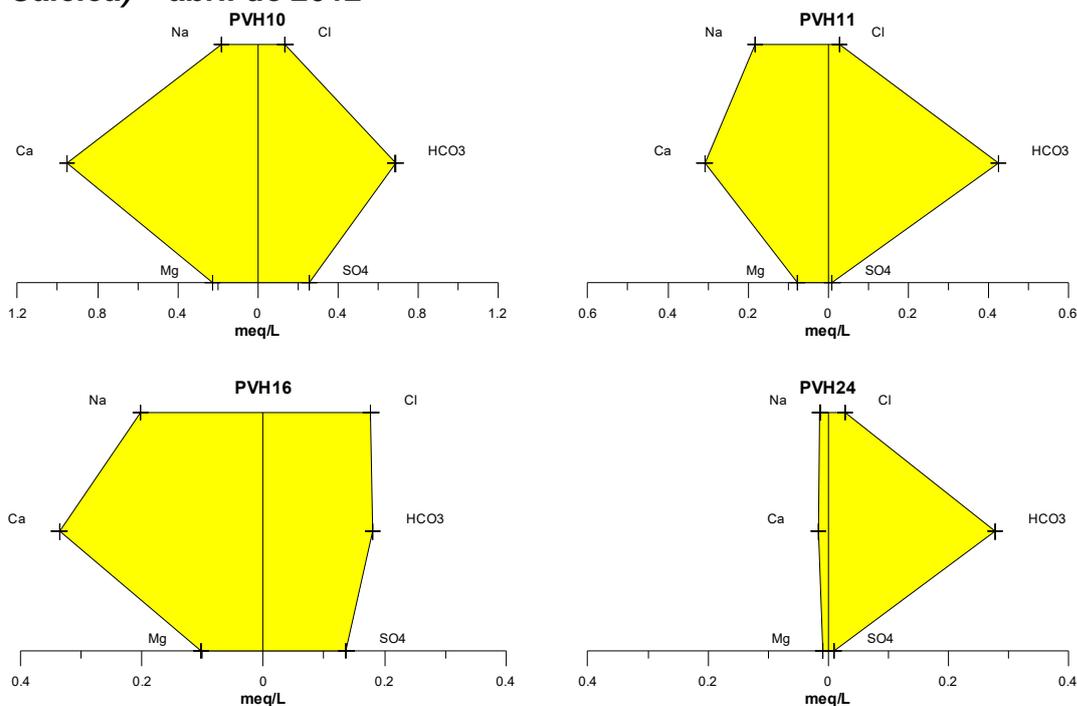


Figura 4.31d – Águas bicarbonatadas cálcica classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

**Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Água Sulfetada Sódica)
– abril de 2012**

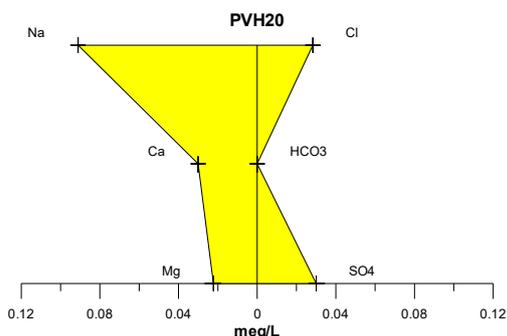


Figura 4.31e – Água sulfetada sódica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

**Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Água Cloretada Cálcica)
– abril de 2012**

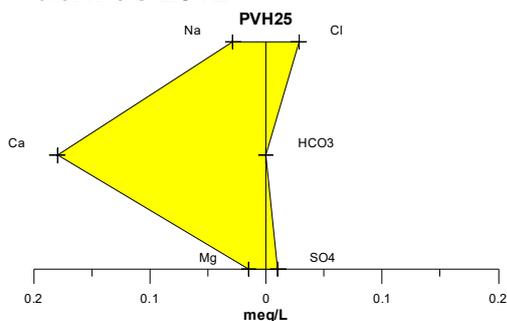


Figura 4.31f – Água cloretada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

Período de estiagem

Os resultados da segunda campanha, assim como, a classificação das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, segundo a predominância de íons estão apresentados na **tabela 4.59**.

Tabela 4.59 - Classificação das Águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Cloretada Sódica	22	73,3
Água Bicarbonatada Sódica	3	10
Água Bicarbonatada Cálcica	1	3,3
Água Bicarbonatada Magnésiana	2	6,7
Água Cloretada Mista	1	3,3
Água Cloretada Cálcica	1	3,3

Analisando os resultados das amostras do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, coletadas no período seco, em outubro de 2012, verificou-se que 73,3% (22/30) das águas são classificadas como cloretadas sódicas (**figura 4.32a**); 10% (3/30) bicarbonatadas sódicas (**figura 4.32b**); 3,3% (1/30) bicarbonatada cálcica (**figura 4.32c**); 6,7% (2/30) bicarbonatadas magnesiana (**figura 4.32d**); 3,3% (1/30) cloretada mista (**figura 4.32e**) e 3,3% (1/30) cloretada cálcica (**figura 4.32f**).

Sendo, portanto, classificadas as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, em outubro de 2012, na sua maioria, como *Cloretadas Sódicas*.

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

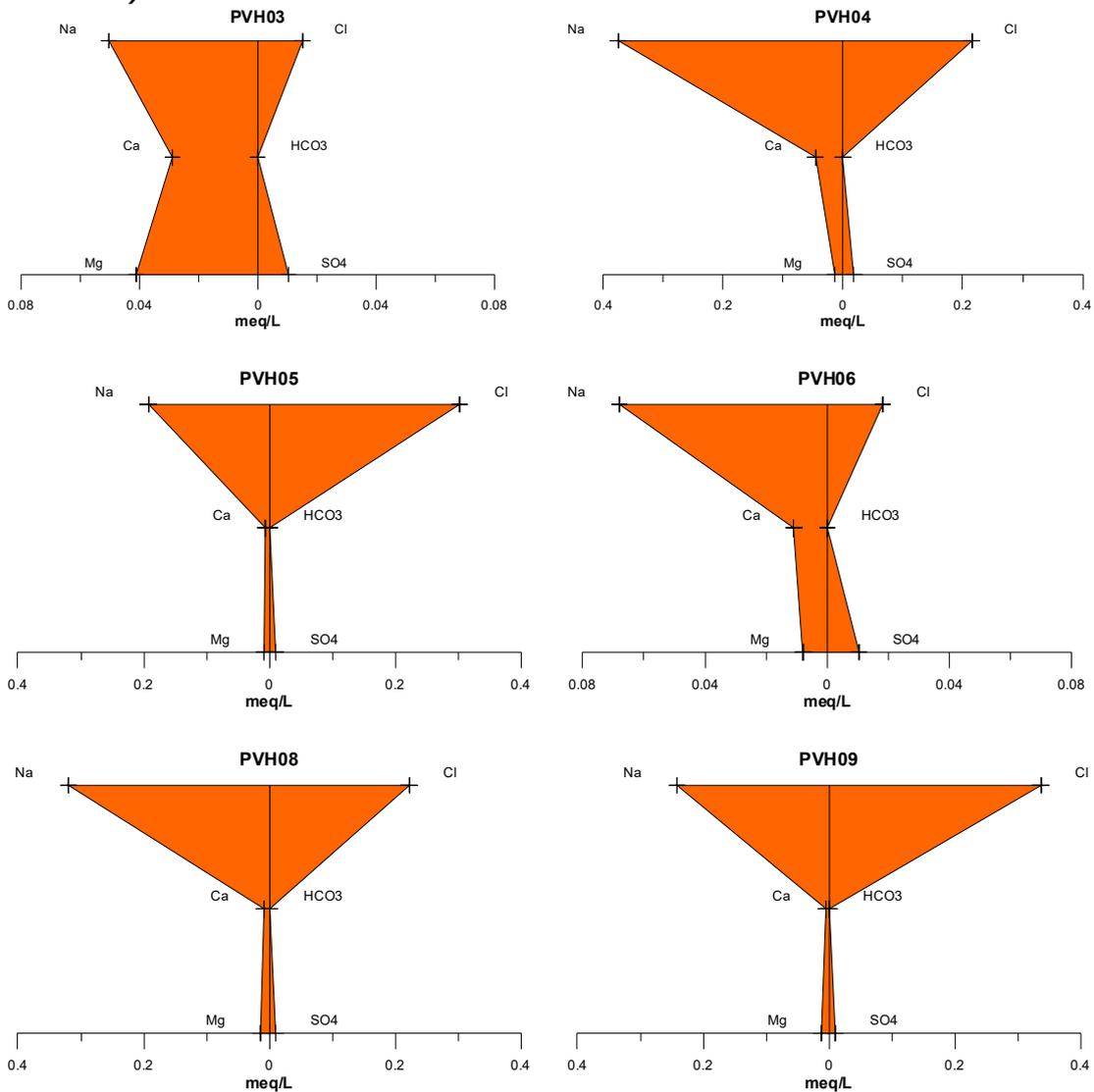


Figura 4.32a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

Continuação

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

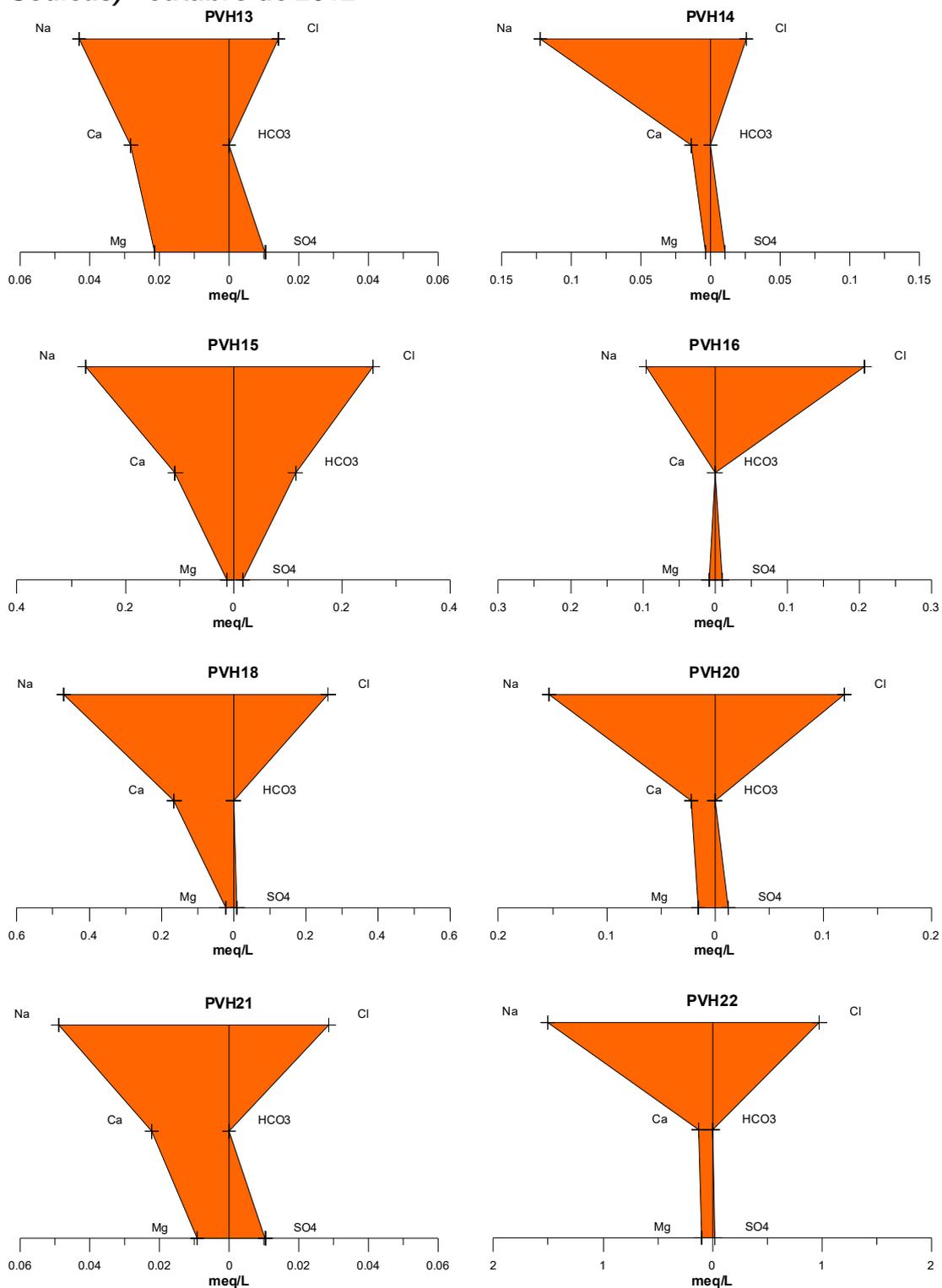


Figura 4.32a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Continuação).

Continuação

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

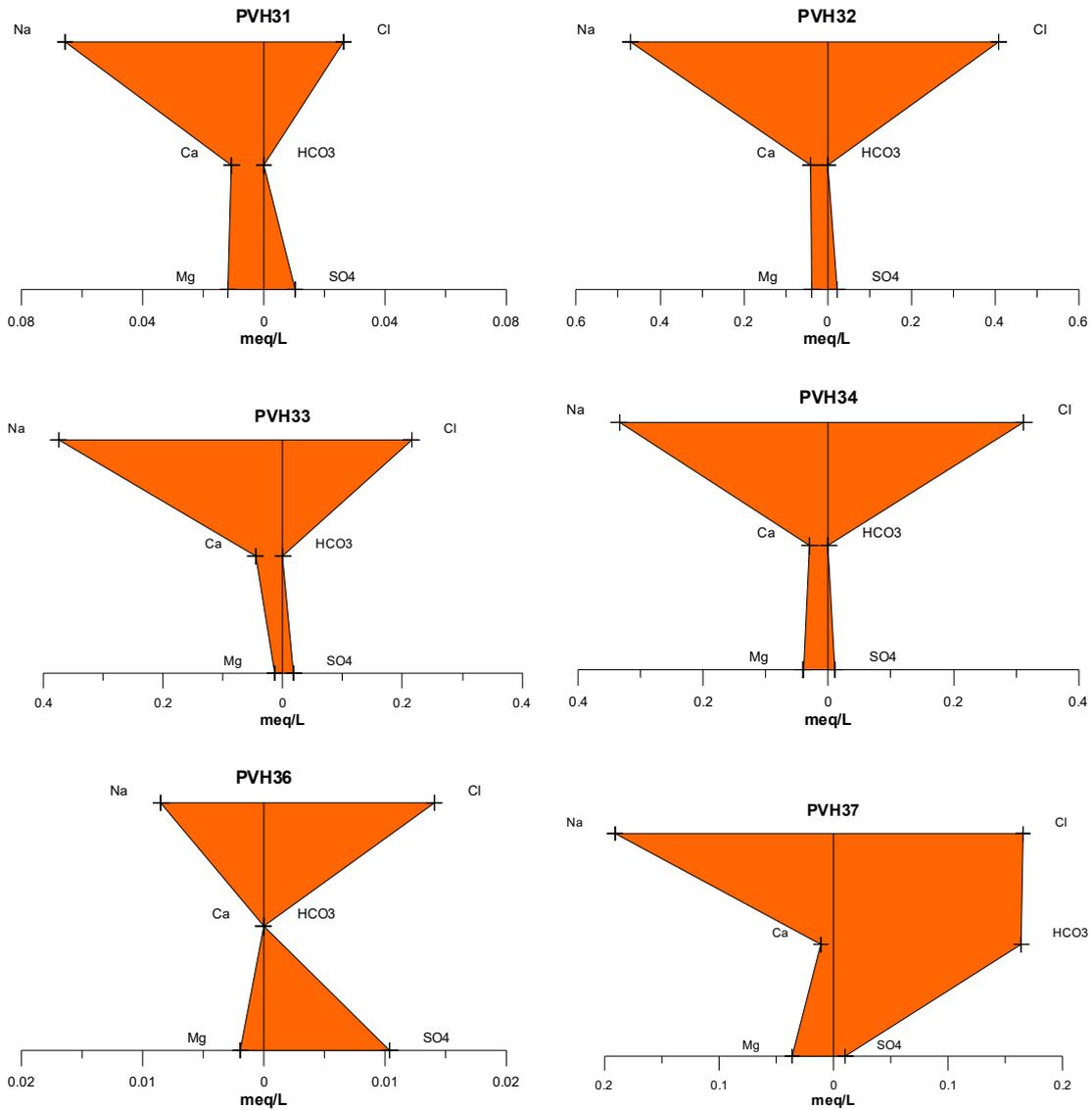


Figura 4.32a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Continuação).

Continuação

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

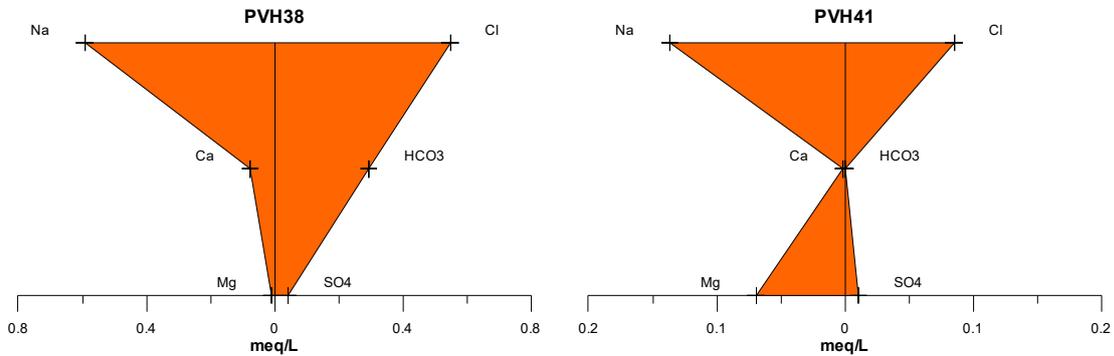


Figura 4.32a – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Continuação).

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Águas Bicarbonatadas Sódicas) - outubro de 2012

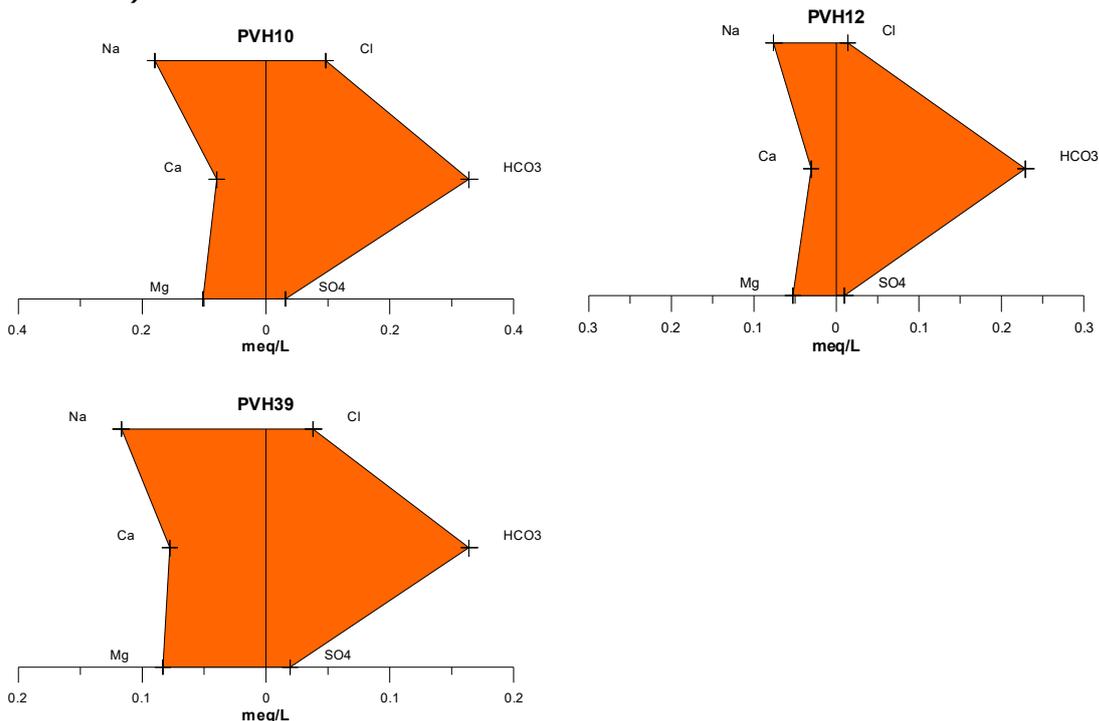


Figura 4.32b – Águas bicarbonatadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Água Bicarbonatada Cálcica) - outubro de 2012

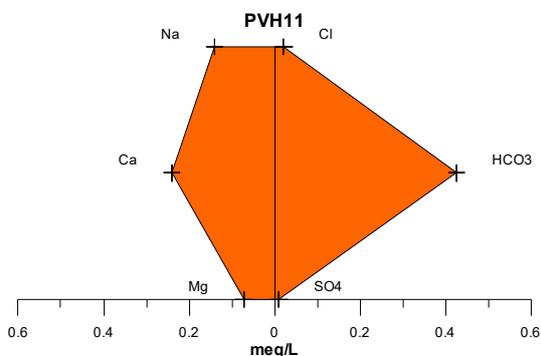


Figura 4.32c – Água bicarbonatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Águas Bicarbonatadas Magnésiana) - outubro de 2012

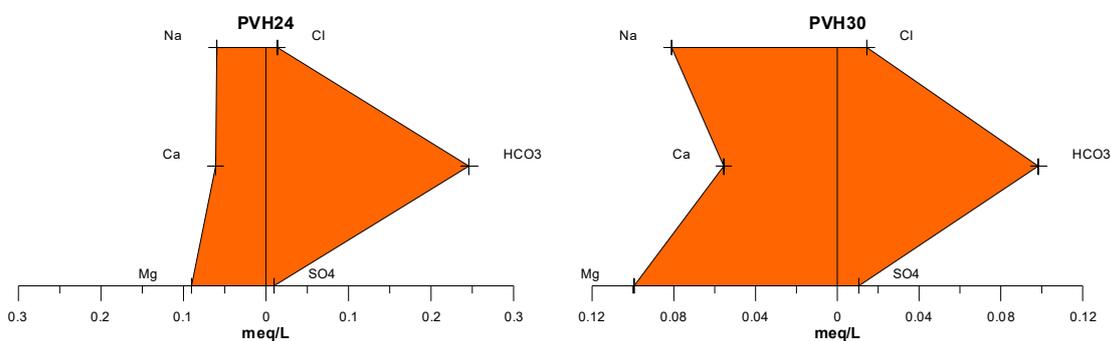


Figura 4.32d – Águas bicarbonatadas magnésiana classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Água Cloretada Mista) - outubro de 2012

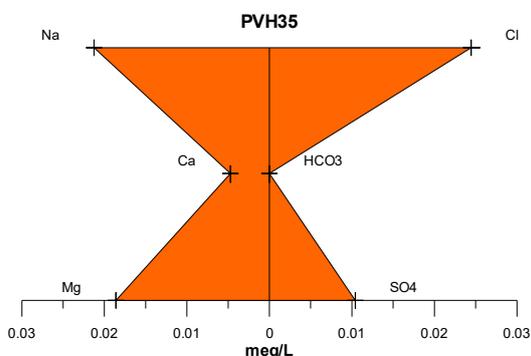


Figura 4.32e – Água cloretada mista classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho (Água Cloretada Cálcica) - outubro de 2012

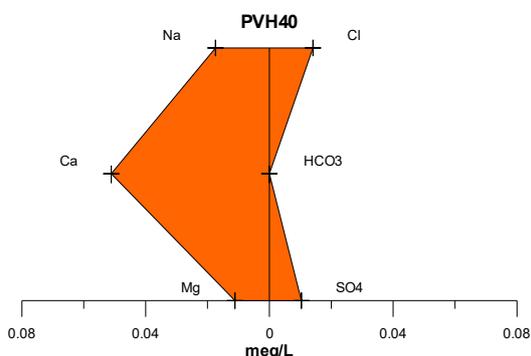


Figura 4.32f – Água cloretada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

4.8.18 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho Segundo o Uso

4.8.18.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano

A partir da análise da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho para consumo humano, avaliada por meio do Diagrama de Schoeller-Berkaloff, em abril (**figura 4.33**) e outubro de 2012 (**figura 4.34**), é possível verificar que as águas são classificadas como de boa potabilidade em ambas as campanhas. Além disso, é possível notar que os parâmetros cloreto e sulfato estão abaixo do VMP recomendado pela Portaria MS 2914/2011.

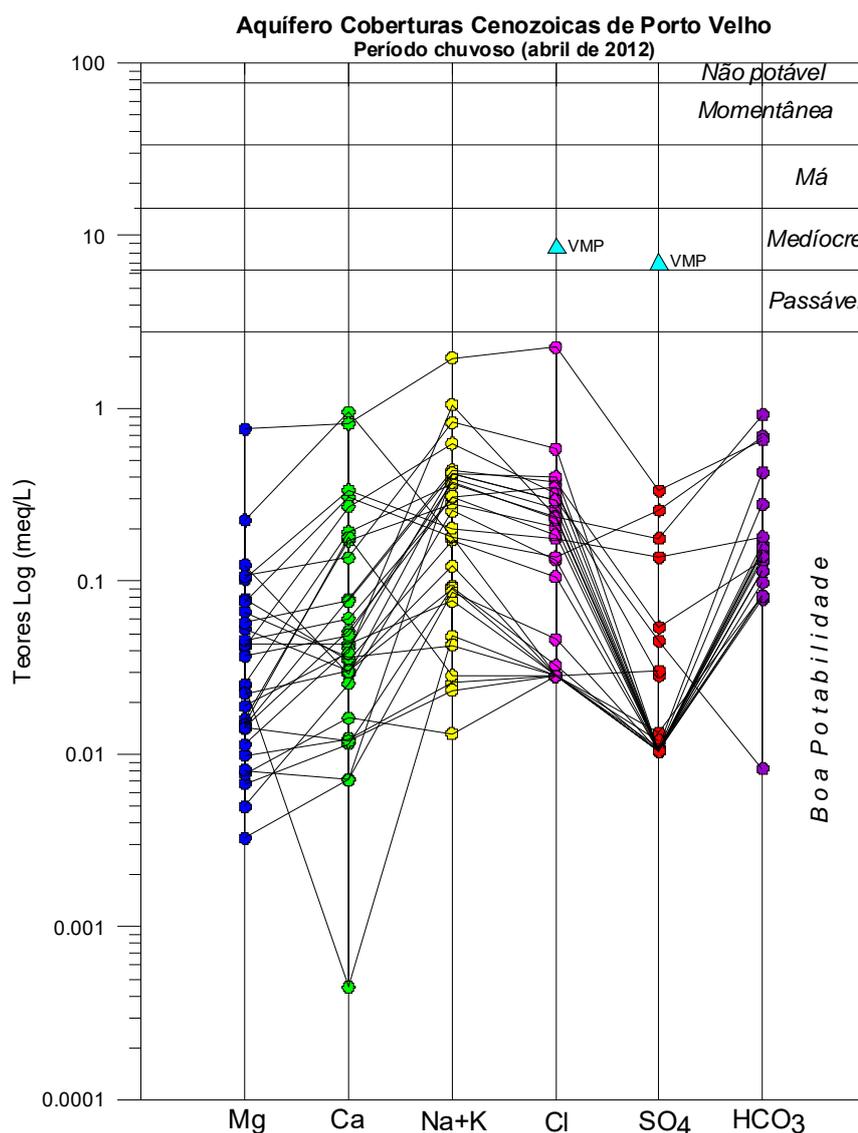


Figura 4.33 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

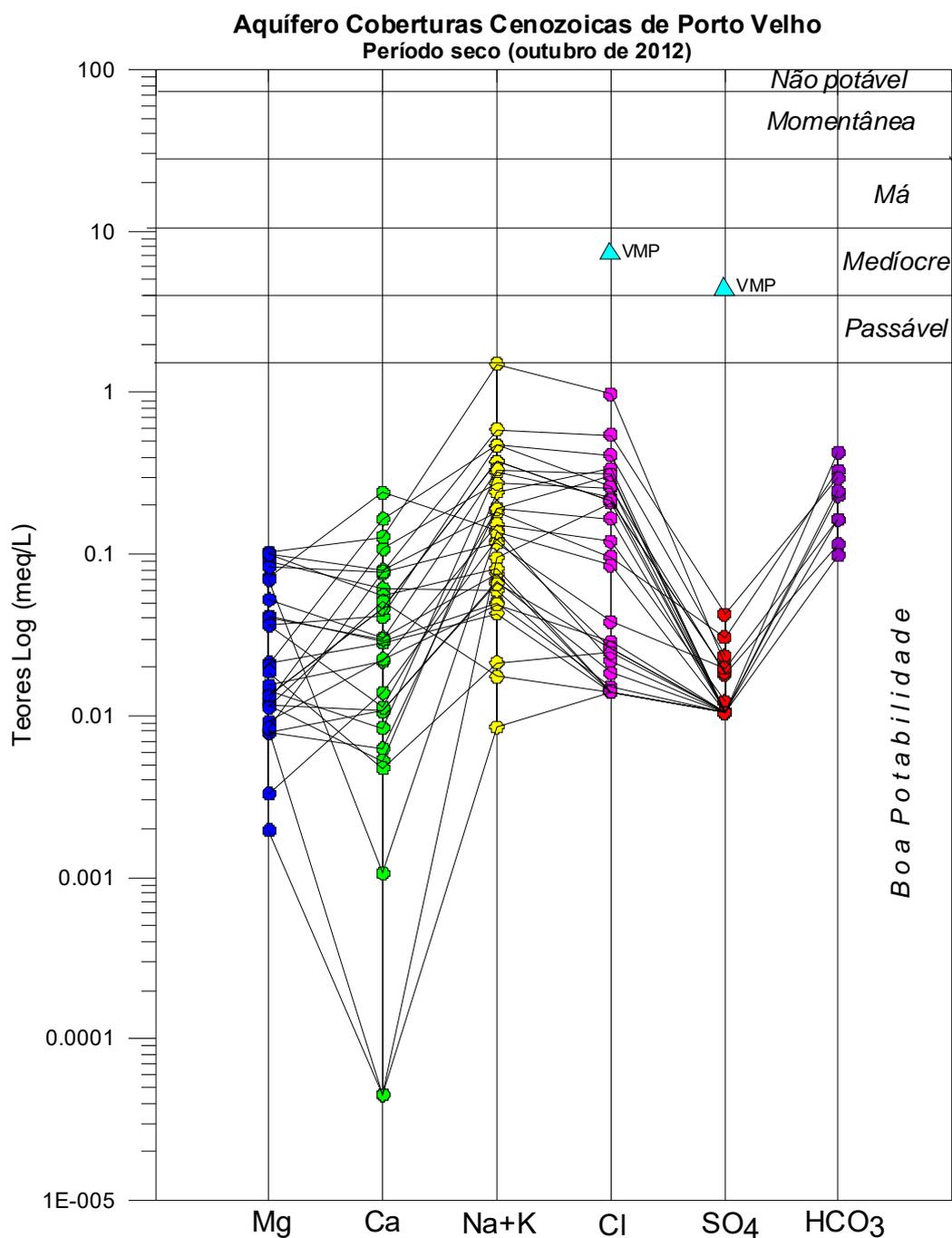


Figura 4.34 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

4.8.18.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação

Para a avaliação quanto ao uso na irrigação das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

Período Chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que as amostras coletadas em abril de 2012 apresentaram risco de sódio baixo em 100% dos casos, ou seja, classificação S₁, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais, como pode ser observado na **figura 4.35**.

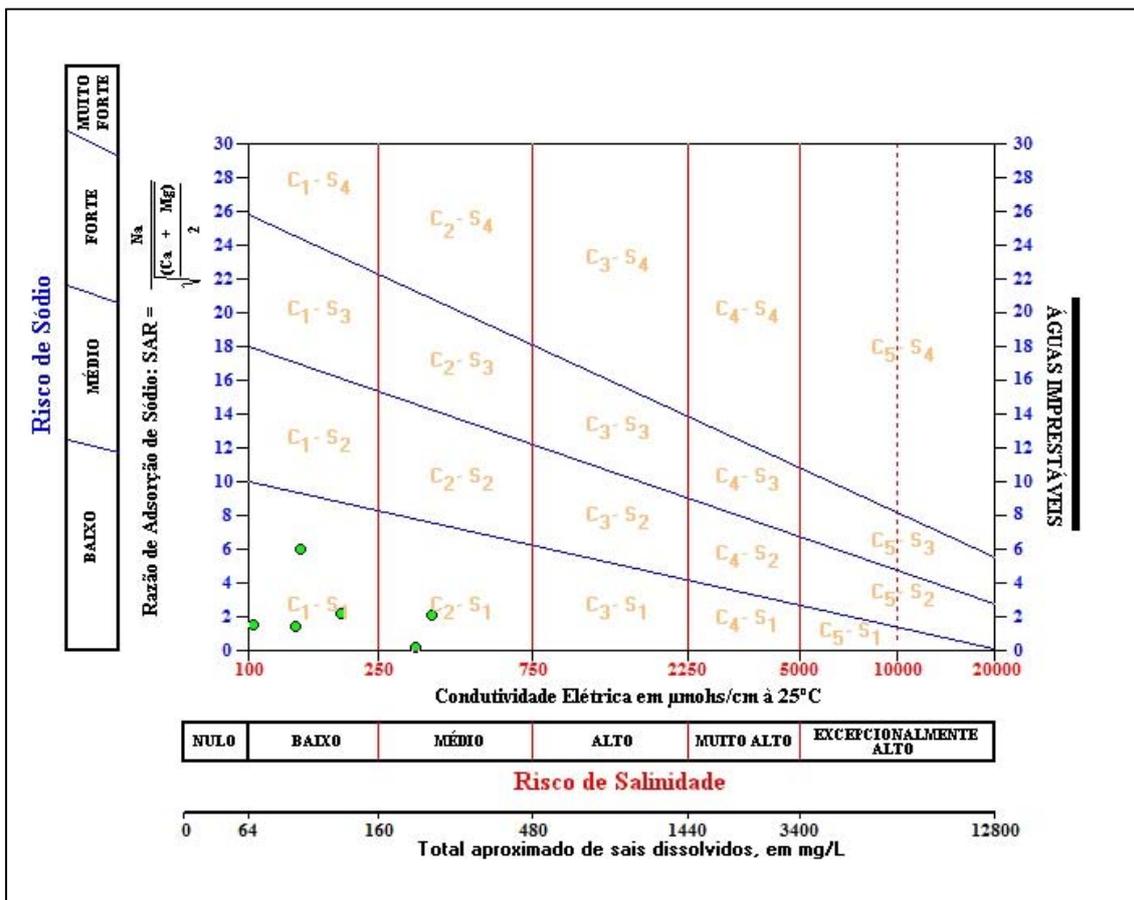


Figura 4.35 – Classificação das águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, para fins de irrigação – Abril de 2012.

Quanto à salinidade, as amostras de abril de 2012 apresentaram em 80% dos casos classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; enquanto que 13,3% dos casos, classificação C₁, indicativa de que são águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca. Os 6,7% restantes apresentaram classificação C₂, ou seja, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo (**figura 4.35**).

Período de Estiagem

Os resultados das amostras coletadas em outubro de 2012 revelaram que em 100% dos casos as águas apresentaram risco de sódio baixo, o que

corresponde à classificação S₁, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais, como indica a **figura 4.36**.

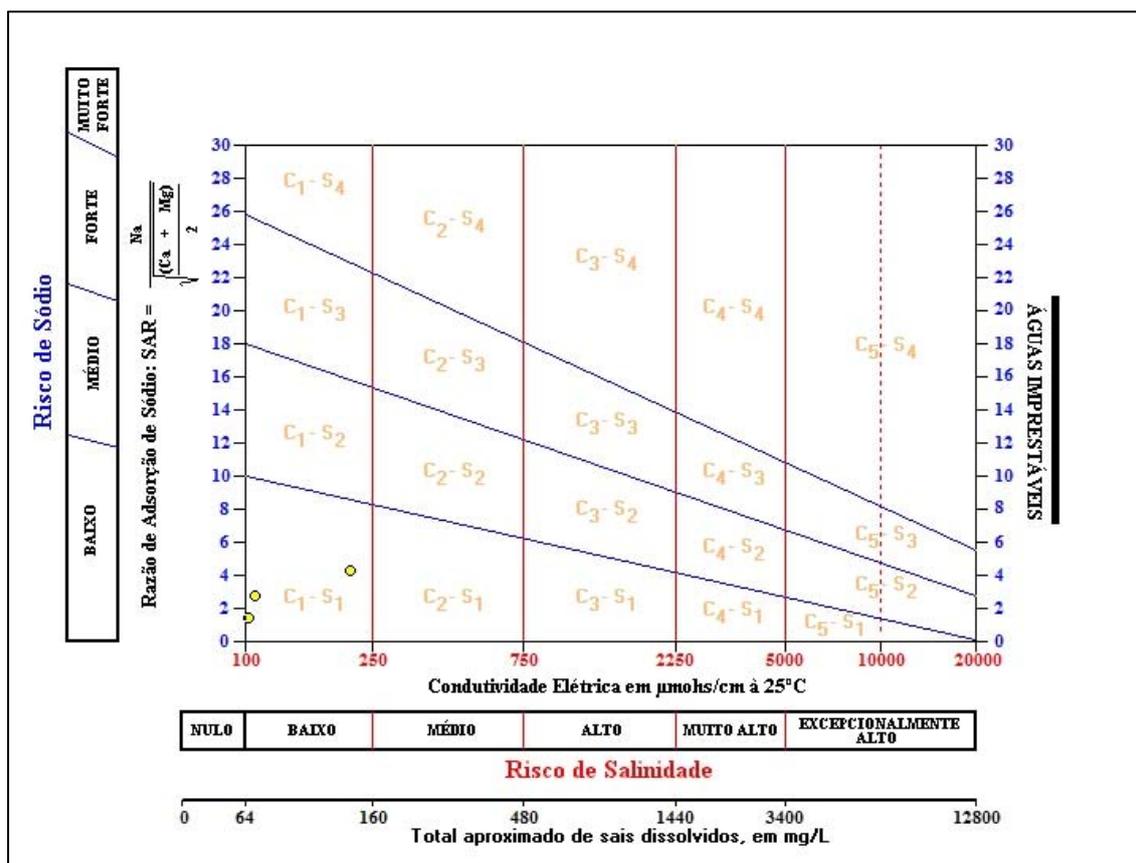


Figura 4.36 – Classificação das águas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, para fins de irrigação – Outubro de 2012.

Com relação à salinidade, as amostras de outubro de 2012 apresentaram em 90% dos casos a classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; e em 10% dos casos a classificação C₁, ou seja, águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas (**figura 4.36**).

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram águas propícias para fins de irrigação, o que pode representar uma alternativa local de fonte de renda (**tabela 4.60**).

Tabela 4.60 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.

Período chuvoso (abril de 2012)				Período seco (outubro de 2012)			
Poço	Classe USSL	Risco		Poço	Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio			Salinidade	Sódio
PVH01	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH03	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH02	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH04	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH03	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH05	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH04	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH06	C0-S1	Nulo	Baixo

Tabela 4.60 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL (Continuação).

Período chuvoso (abril de 2012)				Período seco (outubro de 2012)			
Poço	Classe USSL	Risco		Poço	Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio			Salinidade	Sódio
PVH05	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH08	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH06	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH09	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH07	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH10	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH08	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH11	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH09	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH12	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH10	C2-S1	Médio	Baixo	PVH13	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH11	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH14	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH12	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH15	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH13	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH16	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH14	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH18	C1-S1	Baixo	Baixo
PVH15	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH20	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH16	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH21	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH17	C2-S1	Médio	Baixo	PVH22	C1-S1	Baixo	Baixo
PVH18	C1-S1	Baixo	Baixo	PVH24	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH19	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH30	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH20	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH31	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH21	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH32	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH22	C1-S1	Baixo	Baixo	PVH33	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH23	C1-S1	Baixo	Baixo	PVH34	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH24	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH35	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH25	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH36	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH26	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH37	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH27	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH38	C1-S1	Baixo	Baixo
PVH28	C1-S1	Baixo	Baixo	PVH39	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH29	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH40	C0-S1	Nulo	Baixo
PVH30	C0-S1	Nulo	Baixo	PVH41	C0-S1	Nulo	Baixo

Legenda:

Poços destacados em vermelho possuem salinidade média, de acordo com a classificação do USSL.

4.8.18.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas nos 30 (trinta) poços distribuídos pela região do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 4.61**.

Tabela 4.61 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 246 e 125 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

4.8.19 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, e que alguns poucos valores extremos encontrados, inclusive acima do VMP estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011, assim como os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, se devem em grande parte a fatores antrópicos, com exceção dos parâmetros ferro e manganês que se devem a condição geológica local.

Em vários parâmetros físico-químicos a modelagem geoestatística apresentou um viés estatístico que não permitiu avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade. Sendo assim, nesses casos foram utilizados os dados de média, mediana e valores máximos para avaliar a influência da sazonalidade.

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos coletados em duas campanhas de amostragem, realizadas em abril e outubro de 2012, revelou efeito de sazonalidade sobre alguns parâmetros, tais como, turbidez, CE, STD, sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, sulfato, bicarbonato, dureza e nitrato, cujos teores foram mais elevados no período chuvoso em relação aos do período de estiagem.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença tanto de Coliformes totais, quanto de *E. Coli*, em ambas as campanhas, o que corresponde à contaminação das águas subterrâneas devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares, em sua maioria, são pouco profundos e construídos com técnicas inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção sanitária. A ocorrência desses parâmetros biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica na população local, que utiliza dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Os altos teores de ferro dissolvidos em alguns pontos isolados nas águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho se devem a reações de oxi-

redução, atuantes sobre o ferro insolúvel residual do intemperismo químico regional resultante da alta pluviosidade associada a elevadas temperaturas e acidez das águas, as quais favoreceram a decomposição das rochas ao longo do tempo geológico.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que em ambos os períodos as águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, se caracterizam como ácidas, mas com uma leve tendência de aumento da acidez no período seco, ao que tudo indica como resultado da presença do gás carbônico, que predomina na forma hidratada como espécie dissolvida na água em relação ao ácido carbônico (H_2CO_3) formado através da reação $CO_2(aq) + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$.

Todas as amostras analisadas para os metais pesados arsênio, cádmio, chumbo, cromo, mercúrio e níquel apresentaram teores abaixo do limite de detecção, ao passo que bário, cobre e zinco obtiveram teores abaixo do VMP definido pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

No que se refere às análises de BTEX e fenóis todas as amostras respeitaram os limites de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008.

Os resultados dos isótopos ambientais revelaram que a Reta de Água Subterrânea [δ^2H versus $\delta^{18}O$] (RAS) do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho se desvia muito pouco da Reta Meteorica Mundial (RMM), registrando uma perda de apenas 0,3% de $\delta^{18}O$ ‰ por evaporação. Isto significa que a água de recarga do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho possui 99,7% do conteúdo de $\delta^{18}O$ ‰ das águas de chuva, confirmando que a recarga provém das precipitações e sugerindo que praticamente não há sinais de recarga fluvial a partir do rio Madeira. No entanto, para realmente comprovar que não existe interação significativa do rio Madeira com o aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, é preciso realizar um monitoramento isotópico de Oxigênio-18 e Deutério, incluindo amostragens de águas de chuvas locais, águas do rio Madeira e águas subterrâneas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho, com frequência mensal, durante um ano, usando uma linha de 2 (dois) ou 3 (três) poços transversais ao rio, dedicados a essa finalidade.

Segundo as datações efetuadas com Trício as águas do aquífero estudado possuem mistura de água submoderna com recarga recente.

Quanto às idades convencionais de radiocarbono, há presença de água moderna, ou seja, água com tempo de residência inferior a 200 anos, o que é coerente com a natureza aluvial dos sedimentos pleistocênicos/holocênicos indiferenciados da região do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho.

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho em sua maioria são Cloretadas Sódicas, e de boa potabilidade, segundo indicação dos diagramas de Piper, Stiff e Schoeller-Berkaloff.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação, verifica-se que as águas do aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho possuem risco de sódio baixo e salinidade entre fraquíssima a média, indicando que as águas podem ser usadas para o cultivo de boa parte dos vegetais.

As águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixíssimos.

5 – Hidrogeoquímica do Aquífero Barreiras

5.1 - Introdução

No contexto regional, o aquífero Barreiras está localizado na Província Amazonas, que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003). No contexto local, o aquífero Barreiras está situado na Bacia do Marajó.

A Bacia de Marajó situa-se no Estado do Pará, sendo dominada em superfície pelos terrenos pantanosos das vizinhanças da foz do Rio Amazonas. É uma bacia com formato de meia-lua com 52.000 km² de área, continuando para nordeste sob o Oceano Atlântico. Seu arcabouço estrutural inclui três depocentros: Mexiana, Limoeiro e Cametá (Milani *et al.*, 2000).

O Grupo Barreiras é constituído litologicamente por uma sequência de sedimentos argilo-arenosos, inconsolidados, de coloração amarelo-alaranjada no topo, variando para diversos tons de cinza a variegada na base. Às vezes essas camadas argilosas são compactas e apresentam níveis de lateritas duros e abrasivas. São destacados níveis arenosos com seleção regular no topo e moderada na base, arredondamentos sub-angular a sub-arredondado e esfericidade regular (Oliveira *et al.*, 2014).

A sequência litológica dos sedimentos clásticos do Grupo Barreiras tem distribuição espacial bastante irregular, com camadas horizontais a sub-horizontais, de espessura e continuidade lateral muito variáveis. A espessura total do Grupo Barreiras atinge em torno de 100 m. Sotoposta ao Grupo Barreiras encontra-se a Formação Pirabas (Cortez *et al.*, 2000).

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Barreiras na cidade de Belém - PA foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 12.8**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Barreiras, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

Laboratório da Bioagri Ambiental:

- 18 (dezoito) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sulfato, Eh, bicarbonato, nitrogênio (amoniaco, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*);

Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:

- 01 (uma) Análise de Isótopo Ambiental Estável - deutério e oxigênio-18.

Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:

- 01 (uma) Análise do Isótopo Ambiental Radioativo - trício.

Laboratório Beta Analytic, da Flórida - USA:

- 01 (uma) Análise do Isótopo Ambiental - carbono 14.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 12.3**.

5.2 – Influência Antrópica e Ambiental na Baía de Guajará - Estuário do rio Pará

A baía de Guajará possui uma área de 87.400 km² e está localizada a noroeste da ilha de Marajó, aproximadamente 100 km do Oceano Atlântico, na margem direita do estuário do rio Pará, na confluência dos rios Guamá, Acará e Moju. Na margem leste da baía, localiza-se a cidade de Belém, capital do estado do Pará (Gregório & Mendes, 2009).

A baía do Guajará faz parte do estuário do rio Amazonas, tem forma alongada e estreita, comunica-se com a baía do Marajó e sofre influência direta das marés oceânicas. A água da baía de Guajará é barrenta e, no período de baixa pluviosidade na região, fica salobra devido ao avanço das águas do oceano, caracterizando um estuário temporário (Moreira, 1966).

De acordo com Gregório & Mendes (2009), os setores topograficamente mais baixos da baía são submetidas a alagamento regulares, pois as altas taxas de precipitação, aliadas ao regime de meso-marés semidiurnas, regem esses alagamentos, os quais são potencializados nas marés equinociais.

Segundo Corrêa (2005), no setor leste da baía, o substrato apresenta morfologia mais suave, sendo observados canais junto às margens e sedimentação fina (silte grosso a silte muito fino e sedimentos argilosos), devido à contribuição dos principais tributários do estuário do rio Pará, localizados neste setor. A deposição de lamas dá-se por floculação ou decantação durante a virada da maré ou na parada das águas (estufa de maré).

A quantidade de material em suspensão na baía de Guajará varia mais durante um ciclo de maré do que ao longo do ano. No período de chuvas, o teor de sólidos em suspensão fica em torno de 115 mg/L, e durante os outros períodos do ano, apresenta valor médio de aproximadamente 100 mg/L (Pinheiro, 1987).

A baía é suprida por sedimentos arenosos, de coloração avermelhada devido ao capeamento por óxido de ferro, que tem como rocha-fonte o arenito ferruginoso conhecido como "grés-do-Pará", na Formação Barreiras (Gregório & Mendes, 2009). Esses sedimentos compostos por óxidos de ferro justificam os elevados teores de ferro obtidos nas amostras do aquífero Barreiras, coletadas no âmbito do projeto PHA - ANA.

As zonas baixas da baía de Guajará estão sujeitas a inundações pela influência da maré e pelo pico de cheia que ocorre entre março e abril, período que coincide com a estação chuvosa da região, o que acarreta do ponto de vista da qualidade de água subterrânea, aumento significativo nos teores de sólidos totais dissolvidos, como será observado adiante na Hidrogeoquímica. Esse

aumento significativo em grande parte dos teores se realiza por influência da faixa de transição entre as águas doces e salgadas, que constitui uma zona de mistura, originada pelo fenômeno das marés da região.

Além dos fenômenos de ordem ambiental que afetam a região, existe também a influência antrópica que pode justificar a presença de valores anômalos em alguns parâmetros físico-químicos analisados no aquífero Barreiras no projeto PHA - ANA, pois de acordo com Santos *et al.* (2014), a ocupação urbana na baía de Guajará cresce de forma desorganizada, contribuindo para o aumento indiscriminado de lançamento de esgoto sem nenhum tratamento prévio.

Segundo Ribeiro (2004), a baía de Guajará é o principal corpo receptor da rede de esgoto de Belém, que recebe um alto volume diário de efluentes proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto do Una.

Além das redes de esgoto convencional, são utilizadas as redes de galerias de águas pluviais para recebimento de dejetos vindos das unidades habitacionais, através de ligações clandestinas na rede principal, levando esse material em direção aos rios e à baía de Guajará (PMB, 1999).

5.3 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquífero Barreiras foram submetidos a avaliações pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que no período chuvoso (abril de 2012), 17% (3/18) das amostras coletadas no aquífero Barreiras apresentaram Ep dentro dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1, enquanto que 22% (4/18) das amostras obtiveram Ep inferior a 15%, sendo considerada correta segundo a metodologia nº 2.

Cerca de 78% (14/18) das amostras apresentam Ep superiores aos limites definidos, não sendo considerados válidos em ambos os balanços iônicos (**tabela 5.1**).

Tabela 5.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Barreiras – abril de 2012.

Poço	CE (µS/cm)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
BEL006	35	0,19	0,16	16,75	8,38
BEL008	377	4,53	3,57	23,73	11,86
BEL009	325	3,27	2,93	10,82	5,41
BEL010	390	4,08	4,12	0,96	0,48
BEL011	376	5,03	4,05	21,5	10,75
BEL012	177	1,26	0,57	76,19	38,09
BEL013	318	3,52	2,61	29,62	14,81
BEL014	317	3,54	2,63	29,5	14,75

Tabela 5.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Barreiras – abril de 2012 (Continuação).

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço iônico nº 1	Balanço iônico nº 2
BEL015	323	3,74	3,13	17,73	8,86
BEL016	330	3,68	2,98	21	10,5
BEL017	346	3,91	3,4	13,95	6,98
BEL018	356	4,23	3,77	11,52	5,76
BEL019	350	3,99	3,62	9,68	4,84
BEL023	342	3,88	3,17	20,25	10,12
BEL025	8,1	0,13	0,04	110,26	55,13
BEL001	132	0,95	0,55	54,32	27,16
BEL002	124	0,79	0,43	58,2	29,1
BEL007	128	0,88	0,98	11,02	5,51

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se que 39% (7/18) das amostras obtiveram resultados dentro dos padrões de Ep nas metodologias dos balanços iônicos nº 1 e nº 2. Do total de amostras analisadas, 61% (11/18) não foram consideradas corretas pela metodologia dos dois balanços iônicos, haja vista que apresentaram Ep fora dos limites permissíveis estabelecidos (**tabela 5.2**).

Tabela 5.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Barreiras – outubro de 2012.

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço iônico nº 1	Balanço iônico nº 2
BEL006	33	0,23	0,35	41,76	20,88
BEL008	321	2,79	2,61	6,93	3,47
BEL009	374	4,18	3,27	24,45	12,23
BEL010	369	2,96	2,36	22,26	11,13
BEL011	179	0,92	0,68	30,78	15,39
BEL012	321	3,53	2,88	20,32	10,16
BEL013	125	0,87	0,42	69,58	34,79
BEL014	339	3,39	2,99	12,57	6,29
BEL015	72	0,6	0,29	71,17	35,59
BEL016	184	1,17	1,02	13,42	6,71
BEL017	345	3,37	3,16	6,55	3,27
BEL018	433	3,76	2,73	31,64	15,82
BEL019	248	1,39	1,12	21,71	10,86

Tabela 5.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Barreiras – outubro de 2012 (Continuação).

Poço	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
BEL023	338	3,32	3,15	5,34	2,67
BEL025	118	0,87	1,03	16,64	8,32
BEL001	147	1,11	0,73	41,31	20,65
BEL002	105	0,72	0,64	11,7	5,85
BEL007	107	0,72	0,75	3,52	1,76

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de Ep superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (Ep %), sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). As águas do aquífero Barreiras se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que o maior valor de STD encontrado nas duas campanhas de amostragem alcança 301 mg/L, ou seja, concentração muito baixa quando comparada ao VMP desse parâmetro para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, que é de 1.000 mg/L. Convém destacar ainda que as concentrações de STD, assim como dos íons sódio (Na^+), Cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou $\mu\text{g/L}$. Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de detecção, indicados, por exemplo, como (<1) foram considerados no cálculo do erro, como 1 $\mu\text{g/L}$ (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para mg/L (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados nas amostras do aquífero Barreiras não comprometem os resultados analíticos obtidos, pois segundo Younger (1995) os maiores erros de balanço iônico estão associados a águas pouco mineralizadas (como a água da chuva), ou seja, muito diluídas e, também, a águas muito mineralizadas, cujo erro no balanço iônico pode ser reflexo das determinações de cloreto, pois para altas concentrações de ferro pode haver formação de complexos de ferro total que mascaram o ponto final da titulação. Tal premissa é plausível na área de estudo, haja vista que as amostras coletadas no aquífero Barreiras apresentaram elevadas concentrações de ferro, inclusive cerca de 72% e 44% das amostras, respectivamente na primeira e segunda campanha, obtiveram teores de ferro que ultrapassaram o VMP definido como padrão de potabilidade para consumo humano pela Portaria MS 2914/2011.

5.4 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Barreiras foi estimado conforme metodologia descrita no **item 1.8**.

De acordo com os resultados de ITB calculados verifica-se que na primeira campanha, 100% (18/18) das amostras apresentaram valores negativos; enquanto que na segunda campanha, 94% (17/18) das amostras apresentaram resultados negativos e 6% (1/18) valores positivos (**tabela 5.3**). Isto revela maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que sugere o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ (**figura 5.1** e **figura 5.2**).

Tabela 5.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Barreiras nas duas campanhas.

Poço	ITB - abril de 2012 (meq/L)	ITB - outubro de 2012 (meq/L)
BEL006	-0,17	-0,71
BEL008	-2,45	-3,17
BEL009	-3,54	-3,91
BEL010	-2,39	-4,25
BEL011	-5,48	-0,21
BEL012	-0,63	-1,87
BEL013	-2,83	-0,75
BEL014	-2,87	-0,54
BEL015	-2,07	-0,13
BEL016	-2,62	-0,52
BEL017	-4,41	-1,13
BEL018	-3,33	-2,44
BEL019	-2,48	-0,62
BEL023	-1,29	-0,62
BEL025	-2,22	-0,27
BEL001	-0,92	-0,37
BEL002	-0,11	0,52
BEL007	-0,21	-0,09

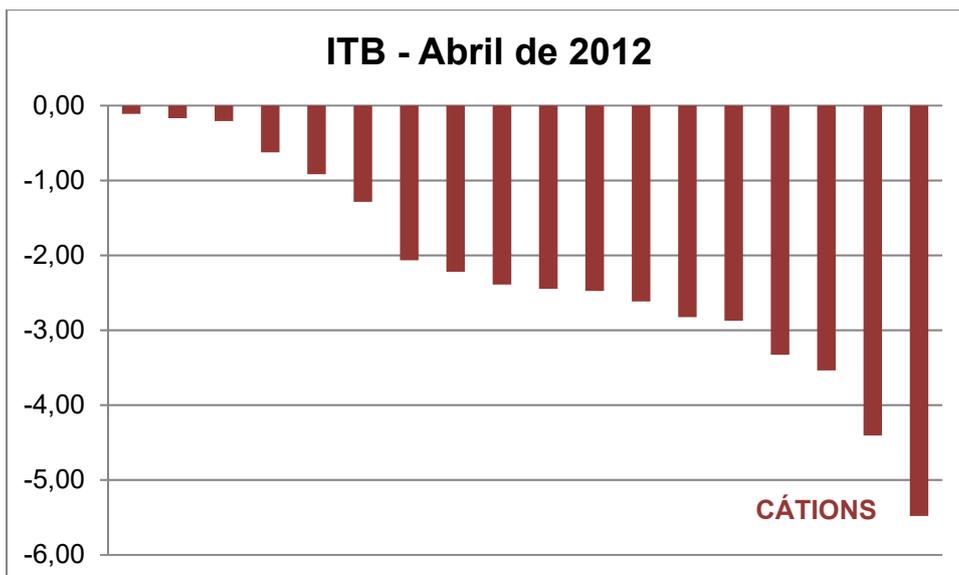


Figura 5.1 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Barreiras, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.

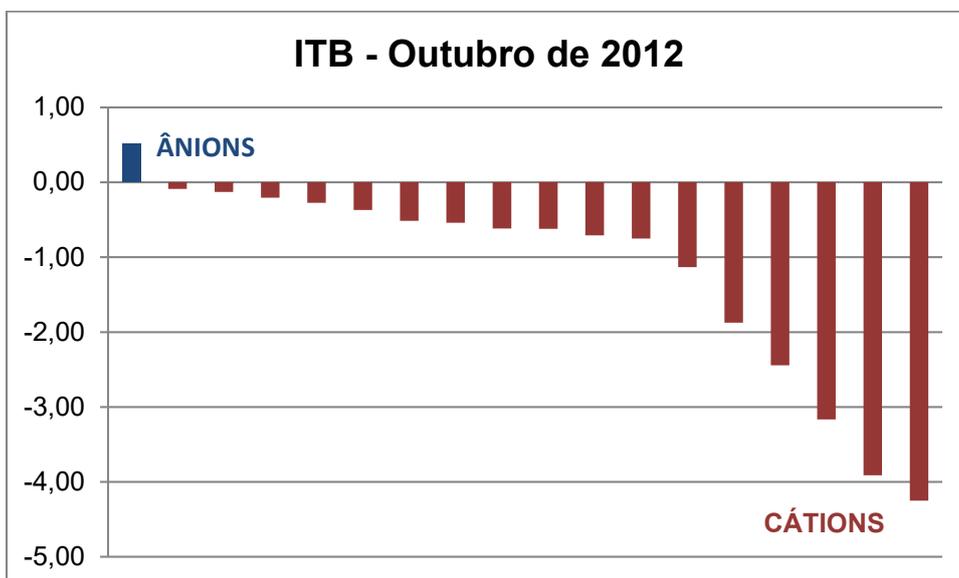


Figura 5.2 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Barreiras, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.

Os valores de ITB obtidos nas águas do Aquífero Barreiras nas duas campanhas estão coerentes, pois segundo Teixeira (2002), o enriquecimento em alcalinos aumenta a diferença $Cl - (Na + K)$, numerador na equação de Schoeller (1962), o que torna mais negativos os valores de ITB.

Na **tabela 5.4** é apresentada a estatística descritiva dos resultados de ITB calculados, onde se verifica que os valores mínimo e máximo obtidos foram de -5,48 e -0,11; -4,25 e 0,52 para as coletas de abril e outubro de 2012, respectivamente.

Tabela 5.4 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no Aquífero Barreiras nas duas campanhas.

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Média	-2,22	-1,17
Erro padrão	0,35	0,33
Mediana	-2,42	-0,62
Desvio padrão	1,48	1,38
Variância da amostra	2,19	1,91
Curtose	-0,05	0,50
Assimetria	-0,33	-1,25
Intervalo	5,37	4,77
Mínimo	-5,48	-4,25
Máximo	-0,11	0,52
Soma	-39,99	-21,09
Contagem	18	18
Nível de confiança (95%)	0,74	0,69

Os resultados de ITB negativos obtidos em ambas as campanhas são justificáveis por conta dos elevados índices pluviométricos da região amazônica que favorecem a diluição dos compostos químicos em solução na água, o que implica no abrandamento das águas com troca de cálcio e magnésio por sódio, tanto no período chuvoso quanto na estiagem.

5.5 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Barreiras nas duas campanhas de amostragem, de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A **tabela 5.5** mostra os resultados das principais razões iônicas para as duas campanhas, realizadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

A razão rMg^{2+}/rCa^{2+} indica que 61% e 44% dos poços, nas campanhas de abril e outubro de 2012, respectivamente possuem águas de circulação em rocha de composição granítica. Tal razão também mostrou que 11% dos poços na primeira campanha, e 6% na segunda campanha contêm águas continentais que possivelmente sofrem influência de terrenos dolomíticos.

A razão rNa^+/rCl^- sugere que na primeira e segunda campanha respectivamente, 100% e 94% dos poços contêm águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas.

A razão iônica $rCl^-/rHCO_3^-$ mostrou que 17% e 28% dos poços no período chuvoso e de estiagem, respectivamente, contêm águas com ausência de íon bicarbonato.

Os resultados das razões iônicas sugerem que as águas do aquífero Barreiras circulam em rocha de composição granítica, o que é coerente segundo Gomes *et al.* (2013), pois os cátions do aquífero Barreiras possuem concentrações

químicas controladas por minerais feldspáticos, como anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e albita ($2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), que a partir do intemperismo nas rochas, geram a Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), principal produto do intemperismo encontrado nesse aquífero. Quanto aos ânions, apresenta-se o Cl^- como íon principal, fruto da precipitação pluviométrica e da sua conservação em subsuperfície.

Tabela 5.5 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no Aquífero Barreiras nas duas campanhas.

Poço	Razões iônicas - Período chuvoso			Razões iônicas - Período seco		
	$\frac{\text{rMg}^{2+}}{\text{rCa}^{2+}}$	$\frac{\text{rNa}^+}{\text{rCl}^-}$	$\frac{\text{rCl}^-}{\text{rHCO}_3^-}$	$\frac{\text{rMg}^{2+}}{\text{rCa}^{2+}}$	$\frac{\text{rNa}^+}{\text{rCl}^-}$	$\frac{\text{rCl}^-}{\text{rHCO}_3^-}$
BEL006	3,86	1,04	-	1,03	1,33	0,35
BEL008	0,25	2,20	0,02	0,28	2,76	0,02
BEL009	0,29	3,05	0,02	0,22	3,37	0,02
BEL010	0,28	1,94	0,02	0,24	3,40	0,02
BEL011	0,39	4,08	0,01	0,33	1,03	-
BEL012	0,23	1,49	-	0,24	2,13	0,03
BEL013	0,28	2,70	0,02	0,36	1,61	-
BEL014	0,27	2,76	0,03	0,32	1,03	0,06
BEL015	0,24	2,25	0,03	0,23	0,99	-
BEL016	0,25	2,62	0,03	0,32	1,30	1,50
BEL017	0,25	3,45	0,01	0,28	1,54	0,04
BEL018	0,27	3,21	0,02	0,26	2,98	0,17
BEL019	0,25	2,29	0,02	0,34	1,46	-
BEL023	0,33	1,62	0,04	0,26	1,14	0,05
BEL025	2,07	2,37	-	0,27	0,97	0,19
BEL001	0,17	1,50	26,31	0,15	1,05	-
BEL002	0,27	0,93	44,08	0,15	0,35	1,43
BEL007	0,18	1,00	1,06	0,16	0,91	1,56

Legenda:

Os valores simbolizados com (-) são indefinidos (divisão por zero), pois se referem a ausência de bicarbonato, na razão iônica cloreto/bicarbonato.

5.6 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Barreiras nas duas campanhas de amostragem, para verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS apresentada na **tabela 1.6**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Barreiras, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012) podem ser observados na **tabela 5.6**.

Na primeira campanha, 33% (6/18) das amostras obtiveram resultados de IS negativos, enquanto que 67% (12/18) das amostras obtiveram resultados de IS positivos, indicando que a maioria das águas possuem características incrustantes. Isto se deve provavelmente, ao fato de que no período chuvoso os teores de dureza são mais elevados.

Na segunda campanha, os resultados de IS foram positivos em 33% (6/18) das amostras e negativos em 67% (12/18) das amostras, indicando que a maioria das águas não possuem características incrustantes.

Tabela 5.6 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Barreiras, nas duas campanhas.

Poço	IS - 1 (Abril de 2012)	IS - 2 (Outubro de 2012)
BEL006	-3,35	-3,78
BEL008	0,52	0,20
BEL009	0,46	0,57
BEL010	0,70	0,36
BEL011	0,72	-4,36
BEL012	-4,20	0,91
BEL013	0,38	-4,47
BEL014	0,59	0,22
BEL015	0,77	-3,54
BEL016	0,76	-1,92
BEL017	0,95	-0,47
BEL018	0,87	-0,65
BEL019	0,74	-3,36
BEL023	0,65	1,39
BEL025	-4,18	-1,12
BEL001	-4,14	-3,22
BEL002	-4,10	-2,96
BEL007	-2,83	-2,69

Os resultados mostram que no período chuvoso o IS variou de -4,20 a 0,95 e no período seco de -4,47 a 1,39, indicando águas subsaturadas em relação à calcita e com tendência a dissolver $\text{CaCO}_{3(s)}$. Isto ocorre porque as águas do aquífero Barreiras são ácidas, com pH médio variando de 6,5 no período chuvoso a 6,1 no período de estiagem, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

5.7 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas

Alguns parâmetros físico-químicos analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação conforme metodologia descrita no **item 1.11**, a qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação (ρ).

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos, o panorama das correlações no período chuvoso (abril de 2012), conforme **tabela 5.7**, é o seguinte:

- Cerca de 43% (59/136) das correlações são Não Significativas, dos tipos, muito fracas (36/136), fracas (16/136) e moderadas (7/136);
- As correlações Significativas satisfazem apenas 11% (15/136), sendo todas moderadas;

- As correlações Muito Significativas correspondem a 46% (62/136), sendo 2 muito fracas, 19 moderadas, 21 fortes e 20 muito fortes.

Tabela 5.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Barreiras – abril de 2012.

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Alcalinidade	Fe	-0,3539	ns
Alcalinidade	NH ₃	-0,6462	**
Alcalinidade	NO ₃	-0,6012	**
Alcalinidade	NO ₂	0	ns
Alcalinidade	CO ₃	0	ns
Alcalinidade	HCO ₃	0,9939	**
Ca	Fe	-0,418	ns
Ca	Eh	-0,9278	**
Ca	SO ₄	-0,2888	ns
Ca	Cl	-0,6639	**
Ca	NO ₃	-0,5382	*
Ca	NH ₃	-0,6077	**
Ca	CO ₃	0	ns
Ca	pH	0,8414	**
Ca	Mg	0,9555	**
Ca	STD	0,9673	**
Ca	CE	0,9748	**
Ca	HCO ₃	0,9831	**
Ca	Alcalinidade	0,9872	**
Ca	NO ₂	-	-
CE	NO ₃	-0,4083	ns
CE	Eh	-0,865	**
CE	Fe	-0,5506	*
CE	pH	0,7546	**
CE	NO ₂	0	ns
CE	CO ₃	0	ns
CE	NH ₃	-0,4806	*
CE	HCO ₃	0,9541	**
CE	Alcalinidade	0,9599	**
CE	STD	0,9957	**
Cl	pH	-0,8293	**
Cl	Alcalinidade	-0,7115	**

Tabela 5.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Barreiras – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Cl	HCO ₃	-0,6952	**
Cl	Fe	-0,1923	ns
Cl	STD	-0,5305	*
Cl	CE	-0,5201	*
Cl	CO ₃	0	ns
Cl	Eh	0,8071	**
Cl	NO ₃	0,8138	**
Cl	NH ₃	0,9159	**
Cl	SO ₄	0,5746	*
Cl	NO ₂	-	-
CO ₃	HCO ₃	0	ns
Eh	Alcalinidade	-0,9615	**
Eh	HCO ₃	-0,9453	**
Eh	NO ₃	0,7294	**
Eh	NH ₃	0,7324	**
Eh	NO ₂	0	ns
Eh	CO ₃	0	ns
Eh	Fe	0,1773	ns
Fe	HCO ₃	-0,3422	ns
Fe	CO ₃	0	ns
K	Eh	-0,4184	ns
K	NO ₂	-0,6337	**
K	Fe	-0,6091	**
K	Ca	0,5983	**
K	HCO ₃	0,6115	**
K	CE	0,6707	**
K	Mg	0,69	**
K	STD	0,698	**
K	Cl	-0,1218	ns
K	NO ₃	-0,1168	ns
K	NH ₃	-0,0618	ns
K	CO ₃	0	ns
K	Alcalinidade	0,5681	*
K	SO ₄	0,2474	ns
K	pH	0,2524	ns
Mg	Eh	-0,8874	**
Mg	Fe	-0,3424	ns

Tabela 5.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Barreiras – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Mg	SO ₄	-0,3422	ns
Mg	Cl	-0,6475	**
Mg	NH ₃	-0,6058	**
Mg	NO ₂	-0,1948	**
Mg	NO ₃	-0,5264	*
Mg	CO ₃	0	ns
Mg	pH	0,8048	**
Mg	CE	0,9289	**
Mg	STD	0,9349	**
Mg	Alcalinidade	0,95	**
Mg	HCO ₃	0,9578	**
Na	Ca	-0,4261	ns
Na	Mg	-0,394	ns
Na	Fe	-0,3762	ns
Na	pH	-0,715	**
Na	STD	-0,2737	ns
Na	CE	-0,2648	ns
Na	SO ₄	0,6087	**
Na	Eh	0,6494	**
Na	Alcalinidade	-0,5021	*
Na	NO ₂	0	ns
Na	CO ₃	0	ns
Na	NO ₃	0,8002	**
Na	NH ₃	0,8065	**
Na	HCO ₃	-0,483	*
Na	Cl	0,8846	**
Na	K	0,0962	ns
NH ₃	HCO ₃	-0,6263	**
NH ₃	Fe	-0,2219	ns
NH ₃	CO ₃	0	ns
NO ₂	Fe	-0,6237	**
NO ₂	NH ₃	-0,036	**
NO ₂	CO ₃	0	ns
NO ₂	HCO ₃	0	ns
NO ₂	NO ₃	-	-
NO ₃	HCO ₃	-0,5899	*

Tabela 5.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Barreiras – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
NO ₃	Fe	-0,2707	ns
NO ₃	CO ₃	0	ns
NO ₃	NH ₃	0,5798	*
pH	Eh	-0,9659	**
pH	NO ₃	-0,7985	**
pH	NH ₃	-0,7509	**
pH	NO ₂	0	ns
pH	HCO ₃	0,8688	**
pH	Alcalinidade	0,8864	**
pH	CO ₃	0	ns
pH	Fe	0,035	ns
SO ₄	Fe	-0,4217	ns
SO ₄	Alcalinidade	-0,3352	ns
SO ₄	HCO ₃	-0,3277	ns
SO ₄	CE	-0,1613	ns
SO ₄	STD	-0,159	ns
SO ₄	NH ₃	0,6986	**
SO ₄	pH	-0,4969	*
SO ₄	CO ₃	0	ns
SO ₄	NO ₃	0,2546	ns
SO ₄	Eh	0,4169	ns
SO ₄	NO ₂	-	-
STD	NO ₃	-0,4242	ns
STD	Eh	-0,8638	**
STD	Fe	-0,5391	*
STD	pH	0,7531	**
STD	NO ₂	0	ns
STD	CO ₃	0	ns
STD	NH ₃	-0,4787	*
STD	HCO ₃	0,9574	**
STD	Alcalinidade	0,9599	**

Legenda:

** = significativo ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$)

* = significativo ao nível de 5% de significância ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns = não significativo ($p \geq 0,05$)

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se, como demonstra a **tabela 5.8**, que:

- A maioria das correlações (81/136), o que equivale a 60% são Não Significativas, classificadas como muito fracas (44), fracas (27) e moderadas (10);
- As correlações Significativas equivalem a 9% (12/136), sendo todas moderadas;
- Existem 32% (43/136) correlações Muito Significativas, das quais 14 são moderadas, 21 fortes e 8 muito fortes.

Tabela 5.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Barreiras – outubro de 2012.

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Alcalinidade	NO ₃	-0,6473	**
Alcalinidade	NH ₃	-0,1491	ns
Alcalinidade	Fe	-0,0516	ns
Alcalinidade	CO ₃	0	ns
Alcalinidade	HCO ₃	0,9969	**
Alcalinidade	NO ₂	0,4501	ns
Ca	Eh	-0,6739	**
Ca	NO ₃	-0,5919	**
Ca	NH ₃	-0,1437	ns
Ca	Fe	-0,1177	ns
Ca	pH	0,772	**
Ca	Cl	-0,5239	*
Ca	CO ₃	0	ns
Ca	SO ₄	-0,4897	*
Ca	STD	0,8622	**
Ca	CE	0,8859	**
Ca	Alcalinidade	0,9727	**
Ca	Mg	0,9739	**
Ca	HCO ₃	0,9794	**
Ca	NO ₂	0,3886	ns
CE	Fe	-0,2855	ns
CE	NO ₃	-0,2748	ns
CE	pH	0,6562	**
CE	Eh	-0,5207	*
CE	CO ₃	0	ns
CE	Alcalinidade	0,8715	**
CE	HCO ₃	0,8725	**
CE	NH ₃	0,2584	ns
CE	NO ₂	0,3222	ns

Tabela 5.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Barreiras – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
CE	STD	0,9857	**
Cl	Fe	-0,3274	ns
Cl	NO ₂	-0,1821	ns
Cl	Eh	0,6288	**
Cl	CE	-0,1522	ns
Cl	SO ₄	0,6556	**
Cl	Alcalinidade	-0,5486	*
Cl	NH ₃	0,7354	**
Cl	HCO ₃	-0,5464	*
Cl	STD	-0,1071	ns
Cl	CO ₃	0	ns
Cl	pH	-0,4878	*
Cl	NO ₃	0,835	**
CO ₃	HCO ₃	0	ns
Eh	HCO ₃	-0,6857	**
Eh	Alcalinidade	-0,6754	**
Eh	NO ₃	0,7131	**
Eh	NO ₂	-0,1125	ns
Eh	Fe	-0,1002	ns
Eh	CO ₃	0	ns
Eh	NH ₃	0,1781	ns
Fe	HCO ₃	-0,0404	ns
Fe	CO ₃	0	ns
K	Fe	-0,2821	ns
K	Eh	-0,1799	ns
K	NH ₃	0,7678	**
K	CE	0,7726	**
K	CO ₃	0	ns
K	STD	0,7969	**
K	NO ₂	0,0278	ns
K	SO ₄	0,1694	ns
K	NO ₃	0,1767	ns
K	pH	0,2512	ns
K	Cl	0,3363	ns
K	Alcalinidade	0,4291	ns
K	HCO ₃	0,4306	ns
K	Ca	0,4539	ns

Tabela 5.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Barreiras – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
K	Mg	0,4568	ns
Mg	Eh	-0,6597	**
Mg	NO ₃	-0,5859	*
Mg	pH	0,7504	**
Mg	NH ₃	-0,1275	ns
Mg	Fe	-0,1134	ns
Mg	SO ₄	-0,5054	*
Mg	Cl	-0,4954	*
Mg	CO ₃	0	ns
Mg	STD	0,8455	**
Mg	CE	0,8878	**
Mg	Alcalinidade	0,9822	**
Mg	HCO ₃	0,9851	**
Mg	NO ₂	0,4248	ns
Na	Fe	-0,2549	ns
Na	pH	-0,2385	ns
Na	Alcalinidade	-0,1653	ns
Na	HCO ₃	-0,1634	ns
Na	NO ₂	-0,162	ns
Na	Ca	-0,1534	ns
Na	NO ₃	0,635	**
Na	K	0,7449	**
Na	Mg	-0,1349	ns
Na	Cl	0,7938	**
Na	CO ₃	0	ns
Na	NH ₃	0,9443	**
Na	CE	0,2607	ns
Na	STD	0,31	ns
Na	Eh	0,3415	ns
Na	SO ₄	0,4144	ns
NH ₃	Fe	-0,1576	ns
NH ₃	HCO ₃	-0,1421	ns
NH ₃	CO ₃	0	ns
NO ₂	NO ₃	-0,2914	ns
NO ₂	NH ₃	-0,1812	ns
NO ₂	Fe	-0,0516	ns
NO ₂	CO ₃	0	ns

Tabela 5.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Barreiras – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Outubro de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
NO ₂	HCO ₃	0,4586	ns
NO ₃	Fe	-0,3824	ns
NO ₃	HCO ₃	-0,6553	**
NO ₃	CO ₃	0	ns
NO ₃	NH ₃	0,5156	*
pH	Eh	-0,8135	**
pH	NO ₃	-0,6714	**
pH	NH ₃	-0,139	ns
pH	Alcalinidade	0,7774	**
pH	HCO ₃	0,7859	**
pH	Fe	-0,0836	ns
pH	CO ₃	0	ns
pH	NO ₂	0,3291	ns
SO ₄	Fe	-0,3476	ns
SO ₄	pH	-0,2671	ns
SO ₄	CE	-0,2575	ns
SO ₄	STD	-0,2357	ns
SO ₄	NO ₂	-0,2191	ns
SO ₄	Alcalinidade	-0,565	*
SO ₄	NO ₃	0,6549	**
SO ₄	HCO ₃	-0,5634	*
SO ₄	CO ₃	0	ns
SO ₄	Eh	0,2711	ns
SO ₄	NH ₃	0,4483	ns
STD	Eh	-0,4507	ns
STD	Fe	-0,2888	ns
STD	NO ₃	-0,2076	ns
STD	pH	0,6185	**
STD	Alcalinidade	0,8287	**
STD	HCO ₃	0,8324	**
STD	CO ₃	0	ns
STD	NO ₂	0,2588	ns
STD	NH ₃	0,2956	ns

Legenda:

** = significativo ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$)

* = significativo ao nível de 5% de significância ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns = não significativo ($p \geq 0,05$)

Conclusão sobre as correlações nas duas campanhas

Das 136 correlações de parâmetros químicos apresentadas em cada uma das campanhas, conforme **tabelas 5.7 e 5.8**, verifica-se que em termos médios 51,5% (43% no período chuvoso e 60% no período de estiagem) são Não Significativas. As correlações Significativas representam apenas 10% do total (11% na primeira campanha e 9% na segunda campanha), enquanto que as correlações Muito Significativas, resultantes do Teste t ao nível de 1%, correspondem a 39% do total (46% no período chuvoso e 32% na estiagem).

As correlações existentes entre Na (sódio), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), CE (condutividade elétrica) e STD (sólidos totais dissolvidos) indicam influência do intemperismo químico, por conta da baixa presença de íons, haja vista que os seus teores foram encontrados em poucas quantidades, o que corrobora com a ideia de que esses elementos foram liberados há anos ao longo da interação água x rocha, e que se apresentam extremamente diluídos devido a elevada precipitação associada a constante renovação das águas na planície amazônica.

Os parâmetros Na (sódio), Cl (cloreto), NO₃ (nitrato), NH₃ (amônia) e SO₄ (sulfato) apresentaram correlação entre si, o que sugere poluição nas águas subterrâneas oriunda de atividade antrópica, principalmente lançamento de esgoto *in natura*, haja vista que tais constituintes representam uma medida indireta de concentração de poluentes. Além disso, as correlações altamente significativas envolvendo as variáveis nitrato e amônia se devem principalmente ao contato das águas subterrâneas com as fossas negras, vazamento nas redes coletoras de esgoto e influência de rios próximos à área de captação dos poços. Tal justificativa é plausível na área de estudo, haja vista a ausência de esgotamento sanitário e a falta de proteção sanitária na instalação dos poços.

5.8 – Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Barreiras

5.8.1 – Cor

A estatística descritiva da cor, realizada seguindo a metodologia definida no **item 1.6**, é apresentada na **tabela 5.9**. Os resultados obtidos no aquífero Barreiras na primeira campanha mostraram em 94% (17/18) das amostras coletadas, valores de cor < 5, ou seja, inferiores ao LD (limite de detecção). Apenas um poço apresentou valor detectável de 65 uH.

Na segunda campanha, 78% (14/18) das amostras apresentaram valores de cor < 5.

Tabela 5.9 – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Cor-1	18	8,44	1,19	15,28	4,90	4,9	65,0	14,58	3,54	4,12
Cor-2	18	5,92	4,42	7,42	4,90	4,9	17,0	3,02E+00	0,71	3,40

Dentre o total de amostras, apenas 6% (1/18) dos poços nas duas campanhas de amostragem apresentaram teores de cor que ultrapassam o VMP da Portaria MS 2914/2011 descrita no **item 2.1**, foram os poços BEL006 e BEL017, respectivamente na primeira e segunda campanha.

Os histogramas de frequência da cor nos dois períodos de amostragem (**figura 5.3**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para cor com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.10**).

Considerando o fato de que 94% e 78%, respectivamente, na primeira e segunda campanha ficaram abaixo do LD, esse bias estatístico provavelmente não pode ser atribuído à influência da sazonalidade, haja vista que na primeira campanha só existiu um valor quantificável de 65 uH no poço BEL006, e na segunda campanha, o poço BEL017 obteve resultado de 17 uH, todos considerados anômalos quando comparado aos demais, o que sugere influência antrópica, pois o aquífero Barreiras está inserido em área urbana, desprovida de saneamento básico, e a maioria dos poços são construídos nas proximidades das fossas sépticas sem a devida proteção sanitária, o que os torna vulneráveis a contaminações locais.

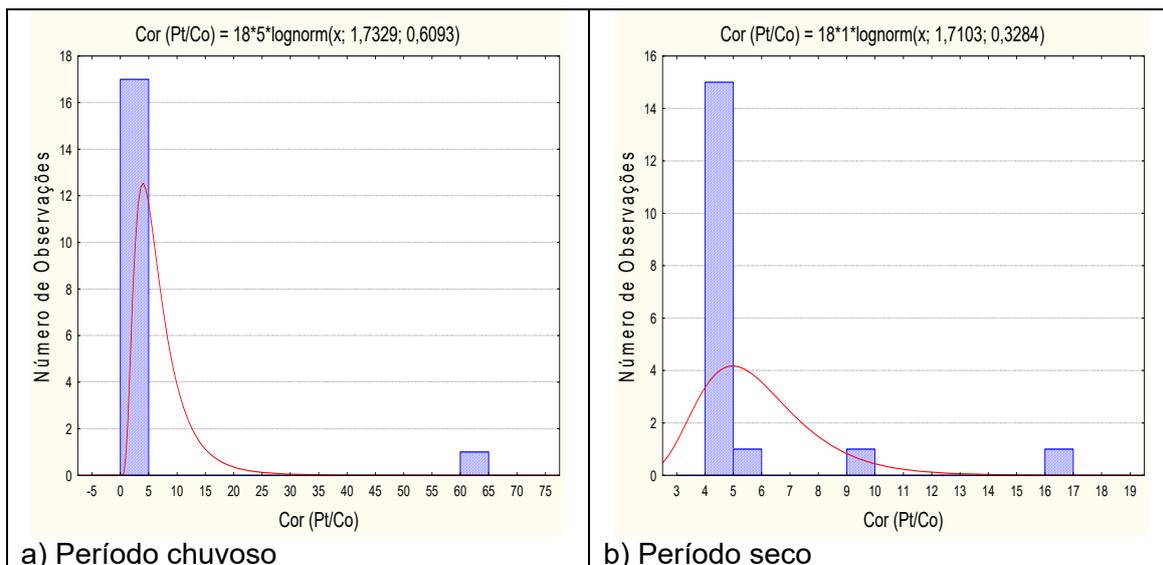


Figura 5.3 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Desse modo, com base na estatística descritiva das duas campanhas apresentados na **tabela 5.9**, admite-se que o parâmetro cor das águas subterrâneas no aquífero Barreiras não sofre influência da sazonalidade, haja vista que isso é o comum na maioria das águas subterrâneas.

Tabela 5.10 – Distribuição de probabilidade da Cor do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cor-1	5,66	3,39	2,59	2,08	1,62	1,37
Cor-2	5,53	4,20	3,63	3,22	2,82	2,58
Razão	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5

5.8.2 – Turbidez

De acordo com a estatística descritiva (**tabela 5.11**), no período chuvoso a turbidez variou de 0,09 até 36 uT, com média de 3,83 uT e mediana de 1,2 uT; enquanto que no período seco a variação foi de 0,09 a 26 uT, com média de 1,68 uT e mediana de 0,09 uT.

Tabela 5.11 – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

Tu	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Tu-1	18	3,83	-0,35	8,01	1,20	0,09	36,0	8,42	1,98	3,70
Tu-2	18	1,68	-1,33	4,70	0,09	0,09	26,0	6,08	1,43	4,22

Os valores de algumas amostras ficaram abaixo do LD (limite de detecção), ou seja, < 0,1 uT, em 6% (1/18) e 72% (13/18) das análises, no período chuvoso e de estiagem, respectivamente. Para fins da análise estatística adotou-se para LD o valor constante 0,09 uT, conforme descrito no **item 1.6**.

Dentre o total de análises realizadas no aquífero Barreiras, cerca de 17% (3/18) e 6% (1/18) das amostras, respectivamente na primeira e segunda campanha de amostragem, apresentaram valores de turbidez (uT) acima do VMP da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.2**).

Os histogramas de frequência da turbidez nos dois períodos de amostragem (**figura 5.4**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp permite concluir com risco calculado (**tabela 5.12**) que os valores de turbidez estimados para o período chuvoso são maiores quando comparados aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é superior a 1 (um). Isto, provavelmente, se deve ao fato de que no período chuvoso as águas são mais ricas em sedimentos em suspensão.

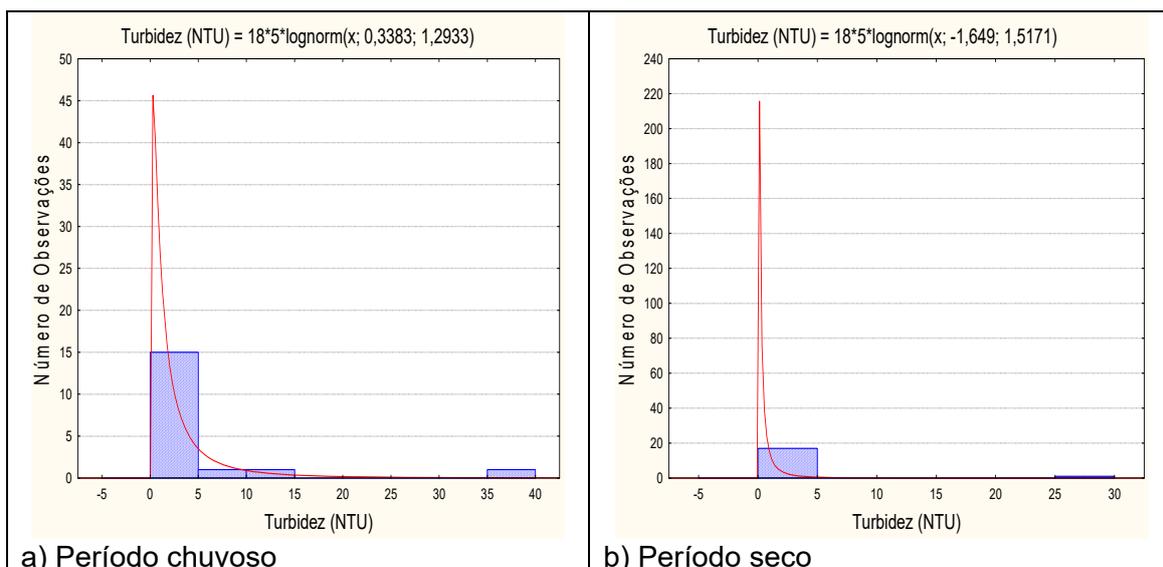


Figura 5.4 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Gregório & Mendes (2009), o regime de chuvas regulares, típico da região Amazônica, mantém as consideráveis descargas de água doce dos rios e a elevada turbidez na região da Baía de Guajará.

Dessa forma, os resultados obtidos no aquífero Barreiras são justificáveis, uma vez que os poços amostrados encontram-se localizados nas proximidades da Baía de Guajará, onde os rios apresentam elevada turbidez, e no período chuvoso, a região é inundada pela águas superficiais, que infiltram e entram em contato com as águas subterrâneas.

Aliado a isso, Narciso & Gomes (2004) relatam que as águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas em relação a turbidez, porém, em alguns casos, águas ricas em íons Fe podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar. Tal premissa é plausível, haja vista que o aquífero Barreiras apresenta elevados teores de ferro, inclusive acima do VMP de potabilidade definido pela Portaria MS 2914/2011.

Tabela 5.12 – Distribuição de probabilidade da Turbidez do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Tu-1	1,403	0,472	0,267	0,167	0,098	0,069
Tu-2	0,192	0,054	0,028	0,016	0,009	0,006
Razão	7,3	8,8	9,7	10,5	11,6	12,3

5.8.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) das águas do aquífero Barreiras, de acordo com a estatística descritiva (**tabela 5.13**) variou no ano de 2012, de 8,1 a 390 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso, com média de 264,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de 324 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No período seco, a variação entre o mínimo e o máximo foi de 33 a 433 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média de 231 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de 216 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabela 5.13 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Barreiras no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

CE	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CE-1	18	264,12	201,66	326,57	324,0	8,1	390,0	125,59	29,60	-0,961
CE-2	18	231,00	168,95	293,04	216,0	33,0	433,0	124,76	29,41	0,002

De modo geral, os valores de CE no aquífero Barreiras são baixos, fato que se deve provavelmente ao clima chuvoso e a frequência das chuvas na região, que assegura uma quase permanente renovação das águas dos aquíferos e dos rios na Amazônia.

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; e água poluída, quando a CE é $> 10.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Nesse caso, as águas do aquífero Barreiras, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potáveis.

Os histogramas de frequência da condutividade elétrica nos dois períodos de amostragem (ilustrados na **figura 5.5**) foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal.

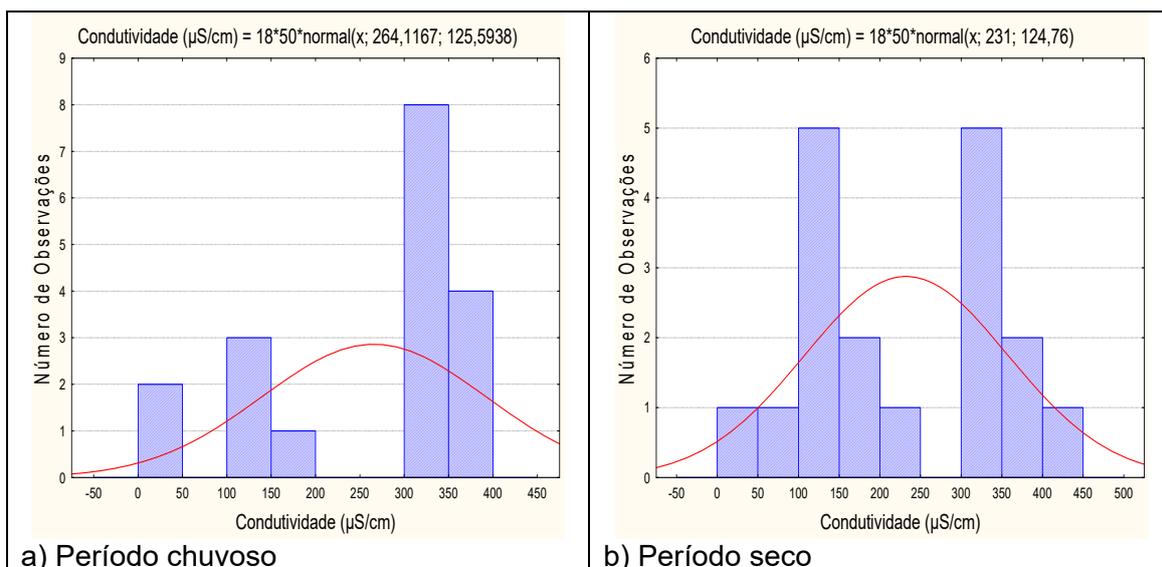


Figura 5.5 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Esse modelo de fdp (**tabela 5.14**) revela para CE com diferentes riscos, que os valores no período chuvoso são superiores aos do período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão obtida nas duas campanhas é superior a 1 (um).

Os valores de CE mais elevados no período chuvoso podem ser justificados pela infiltração das águas superficiais oriundas da baía de Guajará, através das variações de maré e conseqüentemente de seu aporte de sedimentos, conforme descrito no **item 5.2**.

Tabela 5.14 – Distribuição de probabilidade da Condutividade Elétrica do Aquífero Barreiras no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
CE-1	264,12	369,82	425,07	470,70	522,05	556,29
CE-2	231,00	336,00	390,89	436,21	487,23	521,24
Razão	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

Segundo Custodio & Llamas (1983), a condutividade elétrica da água constitui um parâmetro físico que corresponde à quantidade de íons dissolvidos em seu meio e varia com a temperatura, mobilidade e valência dos íons presentes. Este parâmetro está intrinsecamente correlacionado à geologia de cada localidade, ou seja, o arcabouço de rochas, minerais e sedimentos que constituem uma determinada região, os quais influenciarão diretamente os íons que vão compor as águas superficiais e subterrâneas.

Na região amazônica, segundo Campos (2003), valores de condutividade elétrica compreendidos entre 10 a 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ são considerados como *background* regional das águas subterrâneas, de modo que valores acima deste padrão indicam influência antrópica na qualidade das águas subterrâneas.

5.8.4 – Temperatura

A estatística descritiva da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Barreiras (**tabela 5.15**) indica que no período chuvoso a temperatura das águas coletadas no aquífero variou de 25,9°C a 31,5°C, apresentando uma amplitude térmica de 5,6°C. No período de estiagem, as temperaturas variaram de 27,6°C a 31,5°C, com uma amplitude térmica de 3,9°C. A média e a mediana no período chuvoso assumem, respectivamente, os valores de 29,08°C e 29,22°C, enquanto que no período seco, os respectivos valores são iguais a 29,42°C e 28,90°C, caracterizando uma distribuição normal. Os valores máximos encontrados em ambos os períodos de coleta, possivelmente decorrem da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas, uma vez que as águas do aquífero Barreiras são influenciadas pelas águas superficiais.

Tabela 5.15 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Barreiras no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

T (°C)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
T-1	18	29,08	28,42	29,74	29,22	25,9	31,5	1,33	0,31	-0,69
T-2	18	29,42	28,84	29,99	28,90	27,6	31,5	1,15	0,27	0,68

Os histogramas de frequência da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Barreiras, modelados por curvas normais de distribuição de probabilidade na amostragem do período chuvoso (abril de 2012) e do período de estiagem, em outubro de 2012, são mostrados na **figura 5.6**.

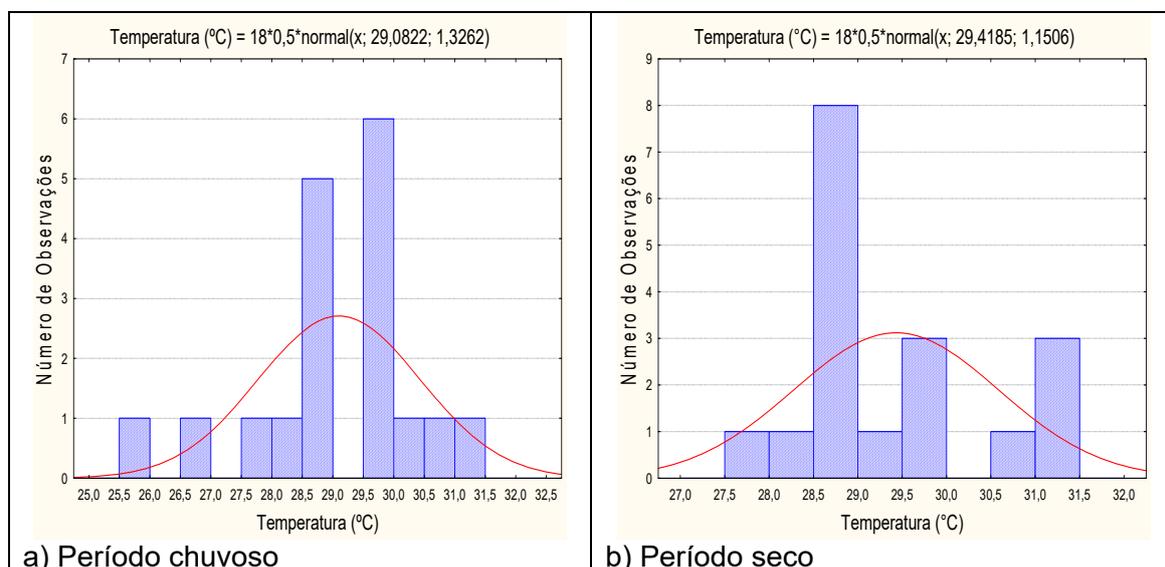


Figura 5.6 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Temperatura (°C) do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados da **tabela 5.16** permitem concluir que as temperaturas das águas subterrâneas do aquífero Barreiras nas duas campanhas de amostragem são muito próximas e que não há influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas é muito próxima a 1 (um).

Tabela 5.16 – Distribuição de probabilidade do Temperatura (°C) do Aquífero Barreiras, no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
T-1	29,08	27,97	27,38	26,90	26,36	26,00
T-2	29,42	28,45	27,94	27,53	27,06	26,74
Razão	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97

Embora a média registrada no período de estiagem seja alta, igual a 29,42°C, ela possivelmente decorre da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas, uma vez que as águas do aquífero Barreiras são influenciadas pelas águas superficiais.

5.8.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

De acordo com Suassuna (2007), na maioria das águas naturais, os sólidos totais dissolvidos (STD) se relacionam com a condutividade elétrica (CE) através de uma equação linear com coeficiente angular situado na faixa de 0,55 a 0,75 (**item 2.5**). No caso do aquífero Barreiras, os dados desses parâmetros são apresentados na **tabela 5.17**.

Tabela 5.17 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S/cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Barreiras nas duas campanhas de amostragem.

Poço	Abril de 2012		Outubro de 2012	
	CE ($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)	CE ($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)
BEL001	132	92	147	115
BEL002	124	80	105	89
BEL006	35	22	33	26
BEL007	128	93	107	66
BEL008	377	258	321	197
BEL009	325	251	374	244
BEL010	390	288	369	246
BEL011	376	281	179	126
BEL012	177	120	321	240
BEL013	318	221	125	97
BEL014	317	221	339	209
BEL015	323	223	72	38
BEL016	330	226	184	110
BEL017	346	242	345	206
BEL018	356	247	433	301
BEL019	350	244	248	170
BEL023	342	233	338	218
BEL025	8,1	6	118	71

Na correlação linear estabelecida com os dados da **tabela 5.17**, os coeficientes angulares encontrados são, respectivamente, iguais a 0,72 no período chuvoso e 0,65 no período seco, como ilustrado na **figura 5.7**. Isso demonstra que nas águas do aquífero Barreiras existe uma forte correlação linear entre STD e CE, conforme revelam os valores dos coeficientes de determinação da regressão (R^2), respectivamente iguais a 0,99 no período chuvoso e 0,97 no período de estiagem.

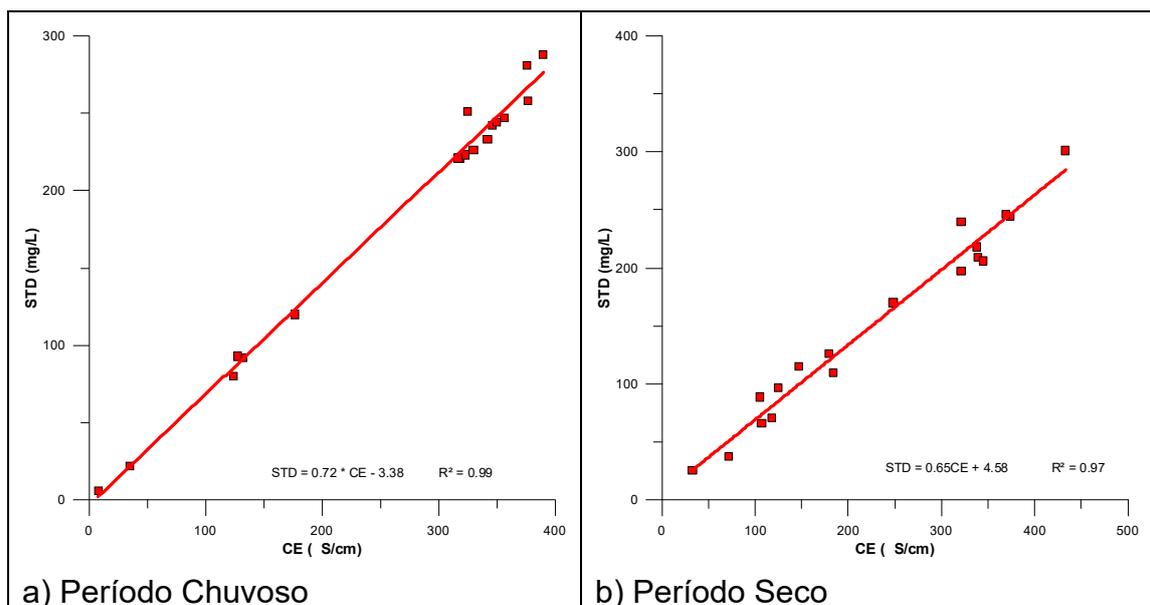


Figura 5.7 – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Barreiras, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

Segundo a estatística descritiva (**tabela 5.18**), os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Barreiras, variam no período chuvoso de 6 mg/L a 288 mg/L, com média de 186 mg/L e mediana de 224,5 mg/L. No período de estiagem, o mínimo observado foi de 26 mg/L e o máximo de 301 mg/L, com média de 153,83 mg/L e mediana igual a 148 mg/L.

Tabela 5.18 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Barreiras no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
STD-1	18	186,00	141,02	230,97	224,50	6,0	288,0	90,44	21,32	-0,88
STD-2	18	153,83	113,16	194,50	148,00	26,0	301,0	81,78	19,27	0,06

De modo geral, os valores de STD obtidos nas águas do aquífero Barreiras são baixos, o que pode ser justificado pela constante renovação das águas associada a elevada precipitação na região, típica da floresta amazônica.

Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011, que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade (**item 2.5**). Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados de STD abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, de 1.000.000 $\mu\text{g.L}^{-1}$, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, em relação a esse parâmetro (**item 2.5**).

Os histogramas de frequência de STD do aquífero Barreiras, modelados por uma função de distribuição de probabilidade (fdp) lognormal, podem ser observados na **figura 5.8**.

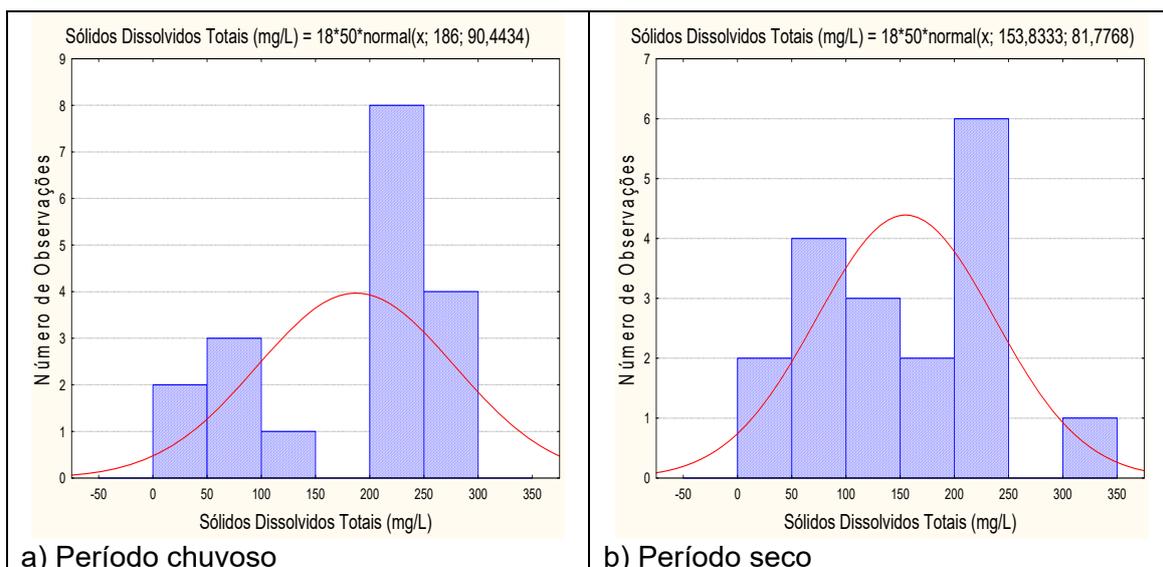


Figura 5.8 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp (**tabela 5.19**) usado para elaborar os histogramas revela para STD com diferentes riscos, que os valores de STD no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão obtida nas duas campanhas é superior a 1 (um).

Tabela 5.19 – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Barreiras no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
STD-1	186,00	262,12	301,91	334,77	371,75	396,40
STD-2	153,83	222,66	258,63	288,34	321,78	344,07
Razão	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

O elevado teor de STD no período chuvoso no aquífero Barreiras pode ser justificado pelo carreamento de sedimentos oriundos das inundações periódicas da Baía de Guajará, associado ao lançamento de esgotos, pois a baía é o principal corpo receptor da rede de esgoto de Belém, conforme descrito no **item 5.2**.

5.8.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade (**item 2.6**). No caso específico do aquífero Barreiras, para os 18 poços cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é ácido no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo dentro do próprio poço, tende a atingir a neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

De acordo com a estatística descritiva mostrada na **tabela 5.20**, nas águas subterrâneas do aquífero Barreiras, os valores de pH *in situ* encontrados no período chuvoso ficaram compreendidos entre 4,5 e 7,3, com média de 6,46 e mediana igual a 6,97. No período seco, os valores oscilaram entre um mínimo de 4,5 e um máximo de 7,9, apresentando média de 6,09 e mediana de 6,07.

Tabela 5.20 – Estatística descritiva do pH *in situ* do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
pH-1	18	6,46	5,96	6,94	6,97	4,5	7,3	0,99	0,23	-1,16
pH-2	18	6,09	5,62	6,56	6,07	4,5	7,9	0,94	0,22	-0,01

Os histogramas de frequência e respectivas curvas ajustadas à lei normal de distribuição de probabilidade para o período chuvoso de abril 2012 e para o período seco de outubro de 2012 são apresentados na **figura 5.9**.

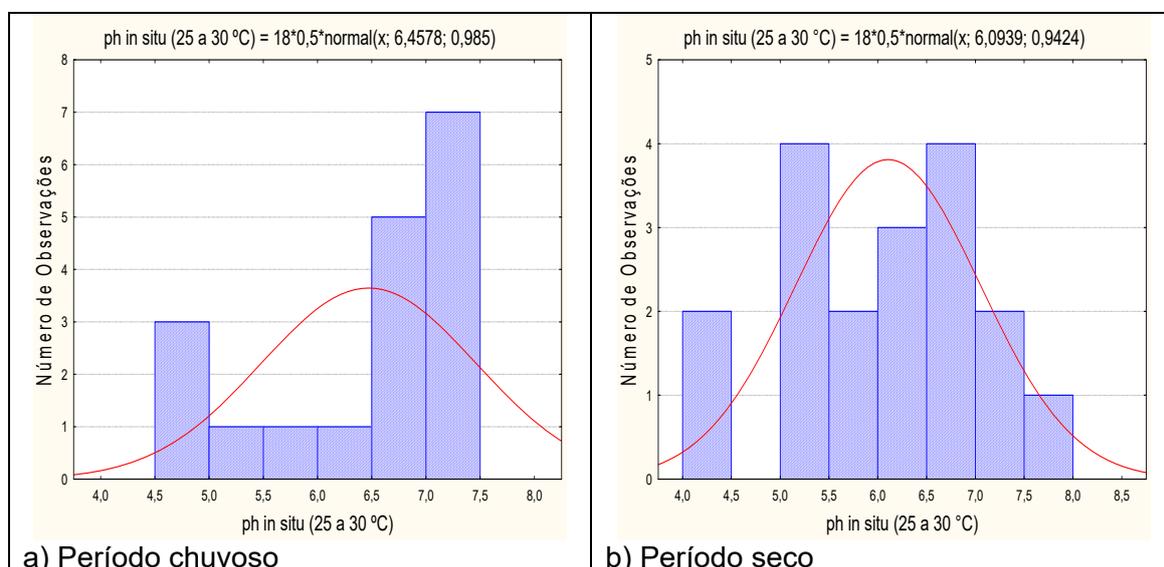


Figura 5.9 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH *in situ* do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 5.21** são indicados com risco calculado, os valores estimados do pH *in situ* no período chuvoso e no período seco. Os resultados mostram que em ambas as campanhas as águas se caracterizam essencialmente como ácidas, mas com um ligeiro aumento da acidez no período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade, haja vista que a razão dos valores medidos nas coletas são superiores a 1 (um).

Tabela 5.21 – Distribuição de probabilidade do pH *in situ* do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
pH-1	6,46	5,63	5,20	4,84	4,43	4,17
pH-2	6,09	5,30	4,89	4,54	4,16	3,90
Razão	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

Os resultados obtidos no aquífero Barreiras se devem a alta pluviosidade da região amazônica, pois a água da chuva é o principal agente do intemperismo químico, que infiltra e percola as rochas. De acordo com Teixeira *et al.* (2000), isso ocorre, pois a água da chuva é rica em O₂, que interage com o CO₂ da atmosfera e adquire caráter ácido, e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica enriquecem o ambiente em CO₂, diminuem ainda mais o seu pH.

5.8.7 – Potencial Redox (Eh)

Para o aquífero Barreiras, os diagramas pH-Eh elaborados usando os conceitos descritos no **item 2.7** revelam os ajustes lineares (**figura 5.10**) feitos a partir dos dados medidos em campo, que foram os seguintes:

No período chuvoso: $\text{pH} = -0,064\text{Eh} + 0,445$ $R^2 = 0,93$

No do período seco: $\text{pH} = -0,047\text{Eh} + 0,342$ $R^2 = 0,66$

O coeficiente de determinação do ajuste do período chuvoso indicou que existe uma correlação significativa entre as medidas de pH e Eh. De acordo com Jardim (2014), uma amostra de água subterrânea rica em CO₂, certamente irá apresentar valores de Eh bastante negativos, e o mesmo comportamento ocorre na interface água-sedimento. Tal premissa é plausível na área de estudo, haja vista que no período chuvoso, a região do aquífero Barreiras é constantemente inundada pelas águas oriundas da baía de Guajará, ricas em sedimento e O₂ proveniente da água da chuva.

No período de estiagem, o coeficiente de determinação do ajuste se mostrou insignificante, indicando que não existe correlação significativa entre as medidas de pH e Eh efetuadas em campo. Isto sugere que, para fins de modelagem termodinâmica, a distribuição das espécies químicas não pode ser deduzida da concentração total de elementos via potencial redox medido.

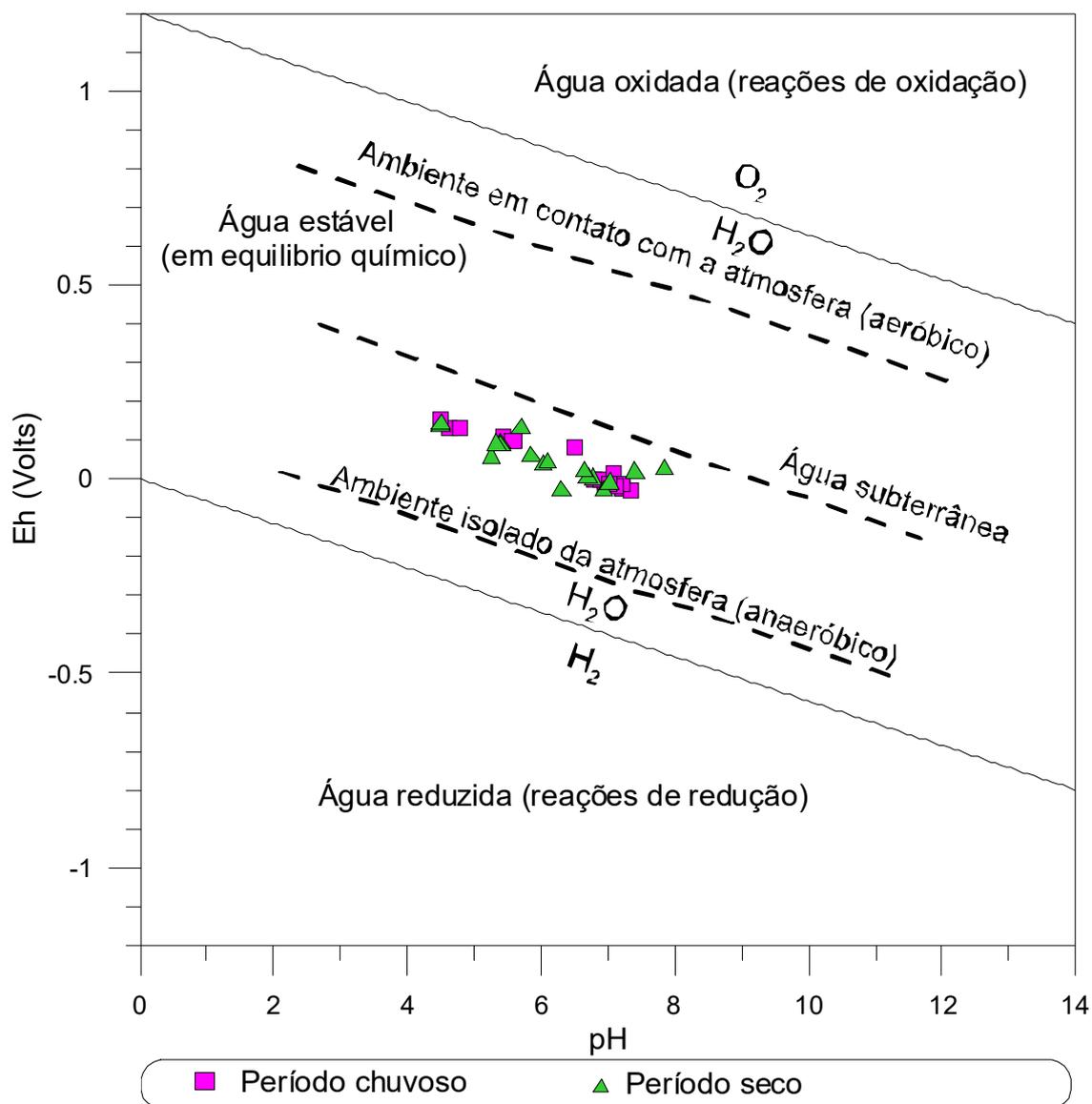


Figura 5.10 – Diagrama pH versus Eh (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Barreiras (temperatura *in situ* variou de 25,9 a 31,5°C) nas duas campanhas de amostragem.

O potencial redox é, por definição, a energia ganha na transferência de 1 mol de elétrons de um oxidante para H_2 . O h em Eh indica que o potencial é na escala do hidrogênio e o E simboliza a força eletromotriz (Freeze & Cherry, 1979).

A estatística descritiva do Eh no aquífero Barreiras, expressa na **tabela 5.22**, mostra que no período chuvoso os valores de Eh oscilaram de -31 a 155 mV, com uma média de 31,78 e mediana de -5 mV. No período de estiagem, os valores oscilaram entre -25 e 148 mV, com média de 54,39 e mediana igual a 46 mV.

No período chuvoso, 56% (10/18) das amostras apresentaram resultados de Eh negativo, o que sugere condições redutoras; enquanto que no período de estiagem, 83% (15/18) das amostras obtiveram valores de Eh positivos, indicando que as águas do aquífero Barreiras se encontram em condições oxidantes.

Tabela 5.22 – Estatística descritiva do Eh (mV) do Aquífero Barreiras no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).

Eh (mV)	N	Média	Confiança 95%	Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Eh-1	18	31,78	-0,68 64,24	-5,00	-31,0	155,0	65,28	15,39	0,85
Eh-2	18	54,39	27,22 81,55	46,00	-25,0	148,0	54,62	12,87	0,35

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução, em razão da contínua adição de doadores de elétrons, isto é, compostos orgânicos oxidáveis, o que acarreta, no caso do aquífero Barreiras, as diferenças de valores de Eh nas duas campanhas.

Os histogramas de frequência de Eh ilustrados na **figura 5.11** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela para Eh com diferentes riscos, que os valores do período de estiagem são maiores quando comparados aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade, conforme pode ser observado na **tabela 5.23**.

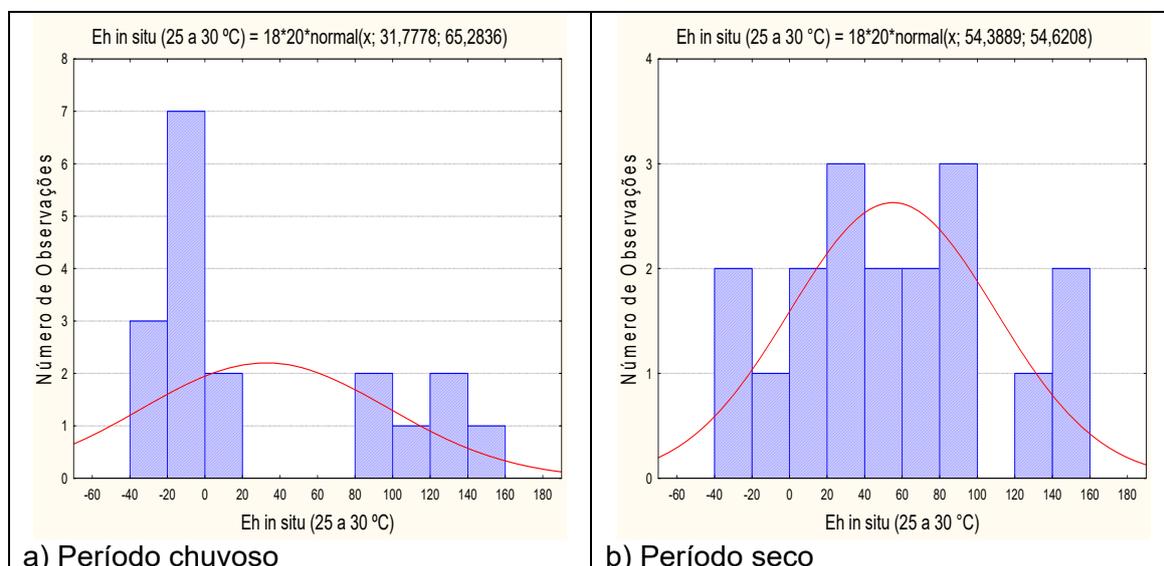


Figura 5.11 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados de Eh obtidos no aquífero Barreiras são coerentes, pois de acordo com Costa & Ávila (2010), na zona não saturada há, geralmente, oxigênio suficiente na fase gasosa para garantir elevados valores de potencial redox (500 a 800 mV) na água. Apesar disso, condições redutoras ou parcialmente redutoras podem ocorrer em pequenos poros (micro-meios). No

caso do aquífero Barreiras, os valores de Eh mais elevados na estiagem são consistentes com a ideia acima apresentada, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que conseqüentemente eleva o valor de Eh.

Tabela 5.23 – Distribuição de probabilidade do Eh do Aquífero Barreiras no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2)

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Eh-1	31,78	-23,17	-51,89	-75,60	-102,30	-120,09
Eh-1	54,39	8,42	-15,61	-35,45	-57,79	-72,68
Razão	0,6	-2,8	3,3	2,1	1,8	1,7

5.8.8 – Cátions

5.8.8.1 – Sódio

A estatística descritiva (**tabela 5.24**) indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Barreiras variam entre 1,54 e 13,03 mg/L no período chuvoso, com média de 4,83 mg/L e mediana de 3,94 mg/L. No período de estiagem, os valores ficaram compreendidos entre 2,26 e 25,16 mg/L, com média igual a 6,97 mg/L e mediana de 4,21 mg/L.

Tabela 5.24 – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

Na	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Na-1	18	4,83	3,49	6,16	3,94	1,54	13,03	2,68	0,63	1,88
Na-2	18	6,97	3,71	10,23	4,21	2,26	25,16	6,56	1,55	2,10

De acordo com a Portaria MS 2914/2011, todos os valores de sódio encontrados nas duas campanhas estão abaixo do VMP de 200 mg/L, padrão definido como de potabilidade para consumo humano, conforme descrito no **item 2.8.1**.

Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.8.1**), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação.

O modelo de distribuição probabilidade lognormal ajustado aos histogramas da **figura 5.12** permitiu estimar com risco calculado, os valores de sódio para o período chuvoso e para o período de estiagem.

Os baixos teores de sódio encontrados em ambas as campanhas de amostragem no aquífero Barreiras estão ligados ao intemperismo químico da região, conforme descrito no **item 1.12**, bem como à constante renovação das águas subterrâneas devido à elevada precipitação regional.

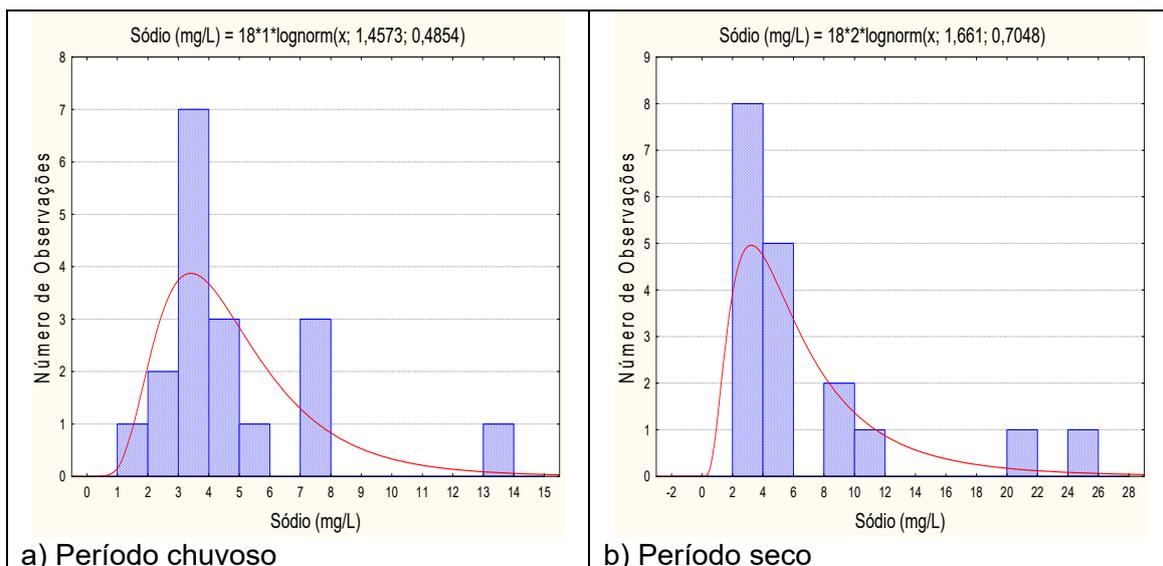


Figura 5.12 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp revela um viés estatístico para sódio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.25**).

Dessa forma, com base nos dados de média e mediana considera-se que os valores de sódio no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Tabela 5.25 – Distribuição de probabilidade do Sódio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Na-1	4,29	2,85	2,31	1,93	1,58	1,39
Na-2	5,26	2,91	2,13	1,65	1,24	1,02
Razão	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

De acordo com Santos *et al.* (1981), na Amazônia Central, parte dos nutrientes são transportados até o solo pela queda de detritos (folhas, galhos, etc.) da serrapilheira, onde após a sua decomposição eles são incorporados ao sistema radicular da vegetação; enquanto que outra fração de nutrientes bastante significativa é transferida para o solo através da água de lavagem da floresta, a qual se torna mais importante, devido o potencial de precipitação pluviométrica na região, visto que o solo local é arenoso e pobre em bases trocáveis.

Tal premissa pode ser ratificada com base nos resultados obtidos no **item 5.4**, onde a maioria das amostras apresentaram resultados de ITB negativos, fato que acontece quando o terreno fornece os metais alcalinos. De acordo com Szikszay (1993), isso é possível, pois as argilas e o húmus dão colóides eletronegativos que são capazes de fixar e trocar cátions.

Segundo Moraes (1999), o solo da floresta amazônica é em geral bastante arenoso e possui uma fina camada de nutrientes que é rica em húmus, o produto resultante da matéria orgânica decomposta.

Madari *et al.* (2009) relatam que os teores de matéria orgânica é que regulam a capacidade de troca de cátions (CTC), principalmente em solos tropicais, cuja fase mineral é dominada por minerais de baixa atividade química quando comparadas à fase mineral dos solos encontrados em regiões de clima temperado. Em solos brasileiros, a matéria orgânica pode contribuir para até 80% das cargas negativas do solo, e isso explica o fato de a CTC desses solos estar, em grande parte, associada à matéria orgânica do solo.

Sendo assim, verifica-se que os teores mais elevados de sódio no período de estiagem no aquífero Barreiras, provavelmente, se devem aos nutrientes transportados até o solo pela decomposição da matéria orgânica.

5.8.8.2 – Potássio

A **tabela 5.26** mostra a estatística descritiva dos teores de potássio no aquífero Barreiras. No período chuvoso as concentrações de potássio medidas nos 18 poços oscilaram entre 0,63 e 5,30 mg/L, com média de 2,77 mg/L e mediana de 2,80 mg/L. No período de estiagem, a variação foi de 0,87 a 6,71 mg/L, com média de 2,64 mg/L e mediana de 2,65 mg/L.

Tabela 5.26 – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

K	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
K-1	18	2,77	2,26	3,27	2,80	0,63	5,30	1,01	0,24	0,15
K-2	18	2,64	1,99	3,30	2,65	0,87	6,71	1,31	0,31	1,64

Os baixos teores de potássio podem ser justificados pela alta pluviosidade na região amazônica, a qual favorece a constante renovação das águas e, conseqüentemente, a diluição dos elementos ali presentes, associado ao intemperismo químico (**item 1.12**).

Segundo Pereira *et al.* (2008), o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais. Na área de estudo, os valores mínimo e máximo de potássio encontrados em ambas as campanhas foi de 0,63 e 6,71 mg/L.

Os histogramas de frequência de potássio ilustrados na **figura 5.13** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela para potássio com diferentes riscos, que os valores do período chuvoso são maiores quando comparados aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade, conforme pode ser observado na **tabela 5.27**.

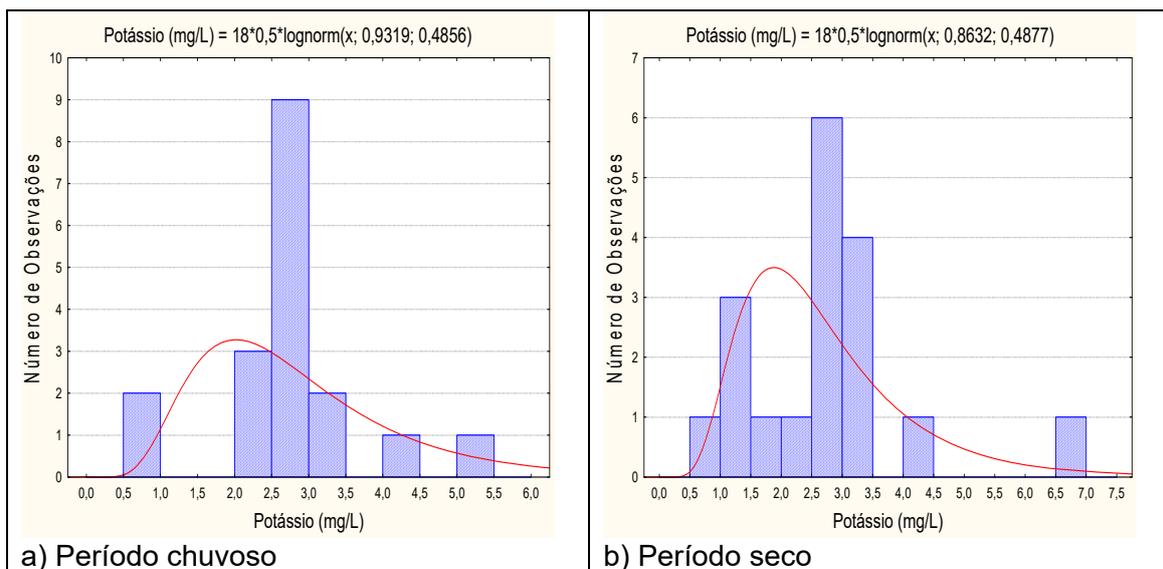


Figura 5.13 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Isto provavelmente se deve a influência das águas da baía de Guajará, que inundam a região, pois de acordo com Ramos (2004), a baía de Guajará e o rio Guamá apresentam características que permitem incluí-los nas classes de água branca, as quais de acordo com Sioli (1985) são as águas amazônicas que possuem intensa produção primária devido a sua riqueza em cátions como cálcio, potássio e magnésio, por conta da elevada carga de sedimentos argilosos em suspensão vinda do Andes.

Tabela 5.27 – Distribuição de probabilidade do Potássio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
K-1	2,54	1,69	1,36	1,14	0,94	0,82
K-2	2,37	1,57	1,27	1,06	0,87	0,76
Razão	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

5.8.8.3 – Cálcio

A **tabela 5.28** mostra a estatística descritiva dos teores de cálcio medidos no aquífero Barreiras. No período chuvoso, os valores medidos estão compreendidos entre 0,19 e 69,8 mg/L, com média de 40,56 mg/L e mediana de 53,25 mg/L. Na estiagem, as concentrações de cálcio variam de 1,02 a 64,65 mg/L, sendo a média igual a 25,88 mg/L e a mediana de 12,80 mg/L.

Tabela 5.28 – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Ca-1	18	40,56	27,63	53,49	53,25	0,19	69,8	26,00	6,13	-0,66
Ca-2	18	25,88	15,16	36,59	12,80	1,02	64,65	21,55	5,08	0,39

Os histogramas de frequência dos teores de cálcio ilustrados na **figura 5.14** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para cálcio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.29**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que os valores de cálcio no período chuvoso são superiores aos do período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade.

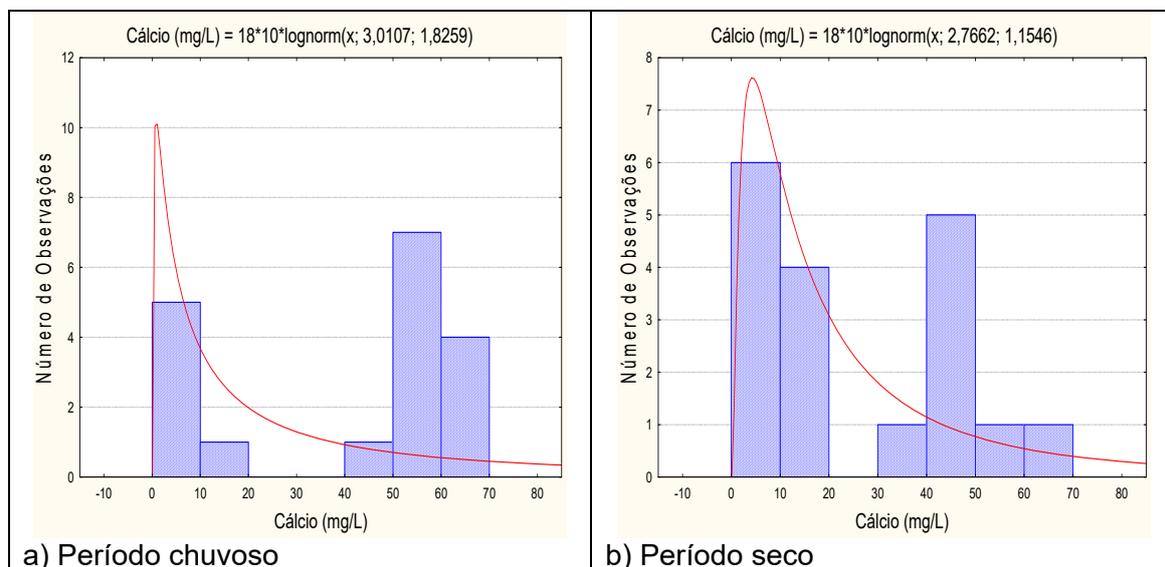


Figura 5.14 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Isto provavelmente se deve a influência das águas da baía de Guajará, que inundam a região, pois de acordo com Ramos (2004), a baía de Guajará e o rio Guamá apresentam características que permitem incluí-los nas classes de água branca, as quais de acordo com Sioli (1985) são as águas amazônicas que possuem intensa produção primária devido a sua riqueza em cátions como cálcio, potássio e magnésio, por conta da elevada carga de sedimentos argilosos em suspensão vinda do Andes.

Tabela 5.29 – Distribuição de probabilidade do Cálcio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Ca-1	20,30	4,37	1,96	1,01	0,48	0,29
Ca-2	15,90	6,02	3,62	2,38	1,48	1,08
Razão	1,3	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3

5.8.8.4 – Magnésio

A estatística descritiva na **tabela 5.30** mostra que os teores amostrados de magnésio nas águas do aquífero Barreiras no período chuvoso (abril de 2012) variam de 0,35 a 16 mg/L, com média de 6,83 mg/L e mediana de 8,46 mg/L.

Na estiagem (outubro de 2012), os valores oscilaram entre 0,64 e 9,35 mg/L, com média de 4,05 mg/L e mediana de 1,94 mg/L.

Tabela 5.30 – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

Mg	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mg-1	18	6,83	4,50	9,16	8,46	0,35	16,0	4,69	1,11	-0,19
Mg-2	18	4,05	2,36	5,72	1,94	0,64	9,35	3,37	0,80	0,35

De modo geral, os teores de magnésio no aquífero Barreiras são baixos. Isto se deve, sobretudo, ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, onde a abundância de água, associada com a exuberante cobertura vegetal e as altas temperaturas, são os principais condicionantes do intemperismo químico (**item 1.12**) que ao longo do tempo geológico quebrou a estrutura química dos minerais componentes das rochas e dos sedimentos deixando os terrenos lixiviados e lateritizados.

Os histogramas de frequência de magnésio ilustrados na **figura 5.15** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para magnésio com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.31**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que os valores de magnésio no período chuvoso são superiores aos do período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade.

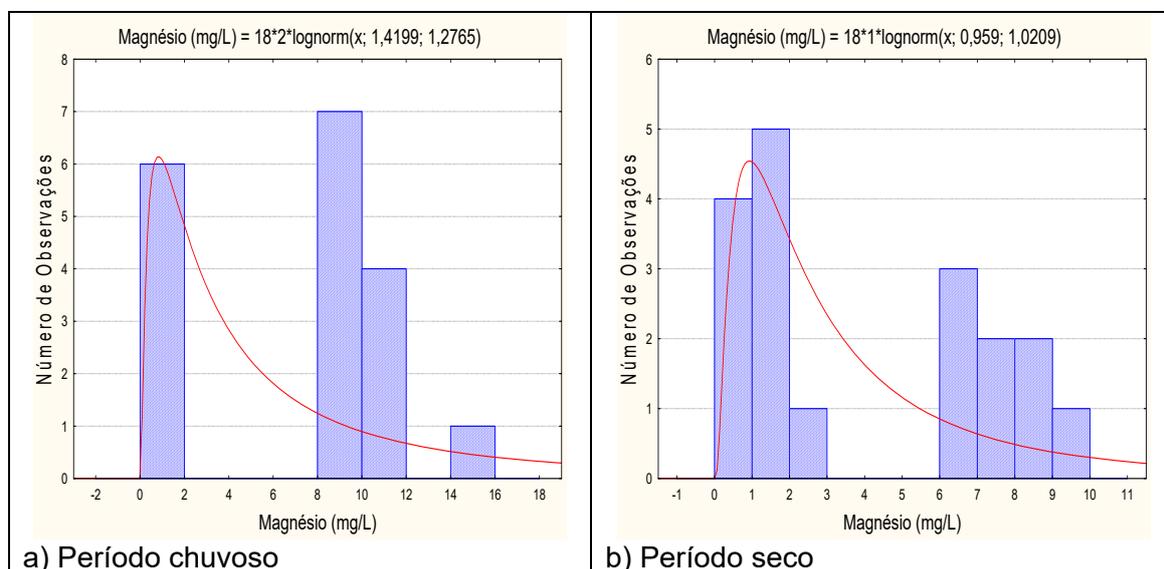


Figura 5.15 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Isto provavelmente se deve a influência das águas da baía de Guajará, que inundam a região, pois de acordo com Ramos (2004), a baía de Guajará e o rio Guamá apresentam características que permitem incluí-los nas classes de água branca, as quais de acordo com Sioli (1985) são as águas amazônicas que possuem intensa produção primária devido a sua riqueza em cátions como

cálcio, potássio e magnésio, por conta da elevada carga de sedimentos argilosos em suspensão vinda do Andes.

Tabela 5.31 – Distribuição de probabilidade do Magnésio do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mg-1	4,14	1,41	0,81	0,51	0,30	0,21
Mg-2	2,61	1,10	0,71	0,49	0,32	0,24
Razão	1,6	1,3	1,1	1,0	0,9	0,9

5.8.9 – Ânions

5.8.9.1 – Cloreto

A **tabela 5.32** mostra a estatística descritiva dos teores de cloreto amostrados no ano de 2012 nas águas subterrâneas do aquífero Barreiras. No período chuvoso (abril de 2012) os valores de cloreto variaram de 0,99 a 13,51 mg/L, com média de 4,41 mg/L e mediana de 2,47 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 1,52 a 23,24 mg/L, com média de 7,49 mg/L e mediana de 5,64 mg/L.

Tabela 5.32 – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Cl-1) abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.

Cl	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Cl-1	18	4,41	2,35	6,45	2,47	0,99	13,51	4,12	0,97	1,55
Cl-2	18	7,49	4,73	10,24	5,64	1,52	23,24	5,54	1,31	1,37

Na primeira campanha, 6% (1/18) das amostras apresentaram teores de cloreto abaixo do limite de detecção de 1 mg/L, e 11% (2/18) teor abaixo do limite de detecção de 2 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Todos os poços amostrados em ambas as campanhas apresentaram resultados de cloreto inferiores ao VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/11, assim como, estiveram dentro dos padrões da Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas do aquífero Barreiras podem ser usadas para consumo humano, irrigação e recreação (**item 2.9.1**).

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência do cloreto na primeira e na segunda campanha de amostragem de água no aquífero Barreiras (**figura 5.16**) permitiram avaliar, com risco calculado, que no período de estiagem a concentração de cloreto é maior do que no período chuvoso (**tabela 5.33**), indicando uma influência da sazonalidade, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é inferior a 1 (um). Isso se deve ao fato de que com a cessação do período chuvoso, a renovação das águas é minimizada e conseqüentemente ocorre a elevação dos poluentes ali presentes, como foi o caso do cloreto.

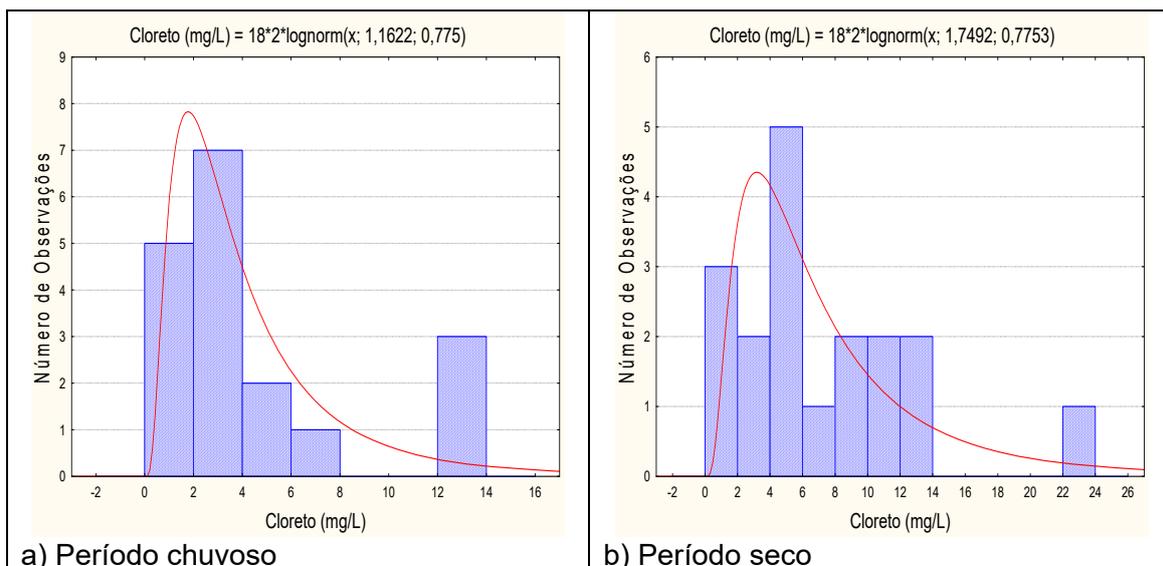


Figura 5.16 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Hindi (2001), a presença de nitrato, cloreto e sódio podem ser indicativos de contaminação nas águas subterrâneas por efluentes domésticos.

Isto provavelmente ocorre, pois a área de estudo está localizada nas proximidades da baía de Guajará, um dos principais receptores de esgoto da cidade de Belém, conforme descrito no **item 5.2**, o que pode ser ratificado pela correlação significativa entre as variáveis Cl, SO₄, NO₃ e NH₃ (**item 5.7**).

Tabela 5.33 – Distribuição de probabilidade do Cloreto do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Cl-1	3,20	1,67	1,18	0,89	0,65	0,53
Cl-2	5,75	2,99	2,13	1,61	1,17	0,95
Razão	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

De acordo com Pohling (2009), quando o teor de cloreto está elevado na água e não há influência de fatores geológicos, essa contaminação pode ser proveniente de efluentes domésticos ou industriais.

5.8.9.2 – Sulfato

A estatística descritiva apresentada na **tabela 5.34** indica que os teores de sulfato nas águas subterrâneas do aquífero Barreiras no período chuvoso variam de 0,49 a 15,73 mg/L, apresentando média de 5,63 mg/L e mediana de 4,88 mg/L. No período seco, os teores variaram de 3,02 a 24,95 mg/L, com média de 10,09 mg/L e mediana de 6,02 mg/L.

Tabela 5.34 – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Barreiras período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

Sulfato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
S-1	18	5,63	3,69	7,56	4,88	0,49	15,73	3,89	0,92	1,75
S-2	18	10,09	6,53	13,65	6,02	3,02	24,95	7,16	1,69	1,12

Na primeira campanha, 6% (1/18) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L.

Todas as amostras analisadas apresentaram teores de sulfato inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 para consumo humano, dessedentação animal e recreação, bem como dentro dos padrões organolépticos de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.9.2**).

Os histogramas de frequência de sulfato ilustrados na **figura 5.17** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela, com diferentes riscos, (**tabela 5.35**) que os teores de sulfato são maiores no período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade, pois a razão obtida entre as duas campanhas é inferior a 1 (um).

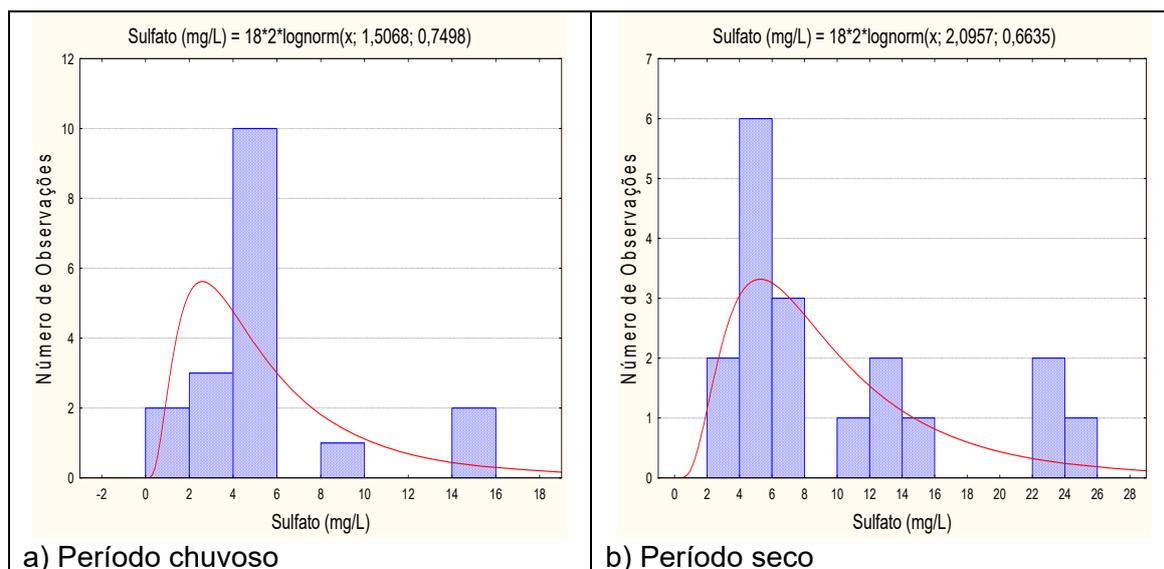


Figura 5.17 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Sulfato Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Apesar do teor de sulfato no aquífero Barreiras em ambas as campanhas de amostragem não ultrapassar o VMP de potabilidade definido pela Portaria MS 2914/2011 e Resolução CONAMA 396/2008, a simples presença de sulfatos nas águas nas duas coletas sugere contaminações locais, e isso é bastante preocupante, pois a comunidade utiliza a água para os mais variados fins, principalmente o doméstico. A presença do sulfato em maior quantidade no período de estiagem, provavelmente se deve ao fato de que a baía de Guajará é um dos receptores de esgoto da cidade de Belém, e com a cessação do período chuvoso, a renovação das águas é diminuída e conseqüentemente a

sua capacidade de autodepuração, fazendo com que os elementos poluentes ali presentes se elevem.

De acordo com Bahia *et al.* (2008), a fonte de poluição dos aquíferos da região metropolitana de Belém é decorrente da contaminação feita pela rede de coleta de esgoto sem tratamento, pois é despejada diretamente um volume diário de 18,294 m³/dia nos igarapés e canais que drenam grande parte da metrópole, se destinando a baía de Guajará e ao rio Guamá.

Tabela 5.35 – Distribuição de probabilidade do Sulfato do Aquífero Barreiras no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
S-1	4,51	2,40	1,73	1,31	0,97	0,79
S-2	8,13	4,65	3,47	2,73	2,08	1,74
Razão	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Na região de Belém, grande parcela dos condomínios residenciais utiliza poços próprios para seu abastecimento. Esses poços captam água do aquífero Barreiras que, na sua grande extensão, é de natureza livre a semiconfinada, com nível estático variando de menos de 1 a 10 m, sendo, portanto, muito vulnerável à contaminação. Além desses aspectos, os poços são, na maioria das vezes, locados sem levar em consideração a proximidade das fossas sépticas ou rudimentares (Cabral & Lima, 2006).

5.8.9.3 – Bicarbonato

A estatística descritiva dos teores de bicarbonato nas águas subterrâneas do aquífero Barreiras (**tabela 5.36**) revela que 17% (3/18) das amostras na primeira campanha obtiveram valores iguais a zero, enquanto que na segunda amostragem esses valores alcançaram 28% (5/18).

Na primeira campanha, 11% (2/18) dos poços apresentaram teores de bicarbonato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L.

No período chuvoso, as concentrações de bicarbonato oscilaram entre 0,0 e 240 mg/L, com média de 130,05 mg/L e mediana de 170 mg/L. No período de estiagem, as concentrações ficaram compreendidas entre 0,0 e 191 mg/L, com média de 76,56 mg/L e mediana igual a 25,50 mg/L (**tabela 5.36**).

O bicarbonato não possui VMP definido para o consumo humano, conforme descrito no **item 2.9.3**.

Tabela 5.36 – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Barreiras no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

Bicarbonato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
B-1	18	130,05	82,51	177,59	170,00	0,0	240,0	95,59	22,53	-0,54
B-2	18	76,56	36,93	116,17	25,50	0,0	191,0	79,68	18,78	0,30

Devido à existência de amostras com teor de bicarbonato igual à zero na primeira campanha (3/18) e na segunda campanha (5/18), a modelagem geoestatística não pode ser realizada porque o ajuste dos histogramas lognormal não pode ser feita com a presença de zero (**figura 5.18**).

Desse modo, com base nos dados de média e mediana obtidos nas duas campanhas, é possível concluir que os teores de bicarbonato são maiores no período chuvoso. Isso faz sentido, porque no período chuvoso as águas da chuva são ricas em dióxido de carbono (CO₂), que reagindo com a água do aquífero produz o ácido carbônico, que por sua vez se dissocia em bicarbonato, fazendo com que esse íon tenda a ser mais abundante no período chuvoso.

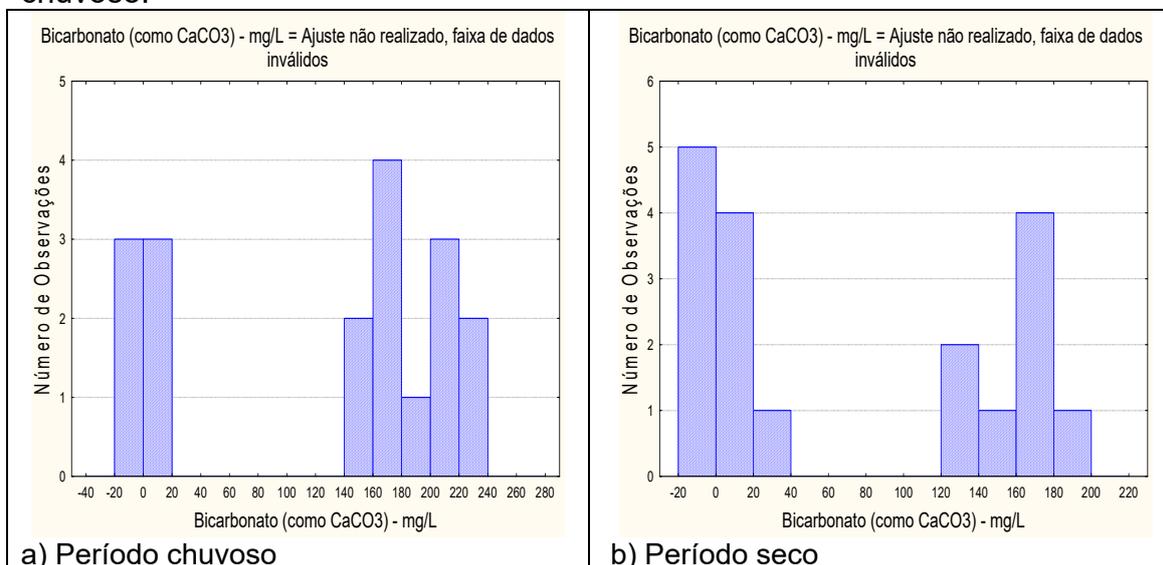


Figura 5.18 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Bicarbonato do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

5.8.10 – Dureza

A estatística descritiva da dureza das águas subterrâneas do aquífero Barreiras (**tabela 5.37**) mostra que no período chuvoso os valores oscilaram entre 2,13 e 233,35 mg/L, com média igual a 129,43 mg/L e mediana de 167,79 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 5,15 a 196,38 mg/L, com média de 81,29 mg/L e mediana de 38,54 mg/L.

Tabela 5.37 – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Barreiras no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

Dureza	N	Média	Confiança 95%	Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
D-1	18	129,43	87,87 170,99	167,79	2,13	233,35	83,58	19,70	-0,62
D-2	18	81,29	47,75 114,82	38,54	5,15	196,38	67,43	15,89	0,36

Segundo a classificação de Von Sperling (2005) descrita no **item 2.10**, as águas do aquífero Barreiras no período chuvoso são 33% (6/18) do tipo mole, e 67% (12/18) do tipo dura; enquanto que no período de estiagem as águas são 55% (10/18) do tipo mole, 17% (3/18) do tipo moderada e 28% (5/18) do tipo dura.

Nenhum dos poços nas duas campanhas de amostragem ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO₃ (**item 2.10**).

Os histogramas de frequência de dureza ilustrados na **figura 5.19** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para dureza com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.38**). Sendo assim, com base nos dados de média e mediana observa-se que os valores de dureza no período chuvoso são superiores aos do período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade.

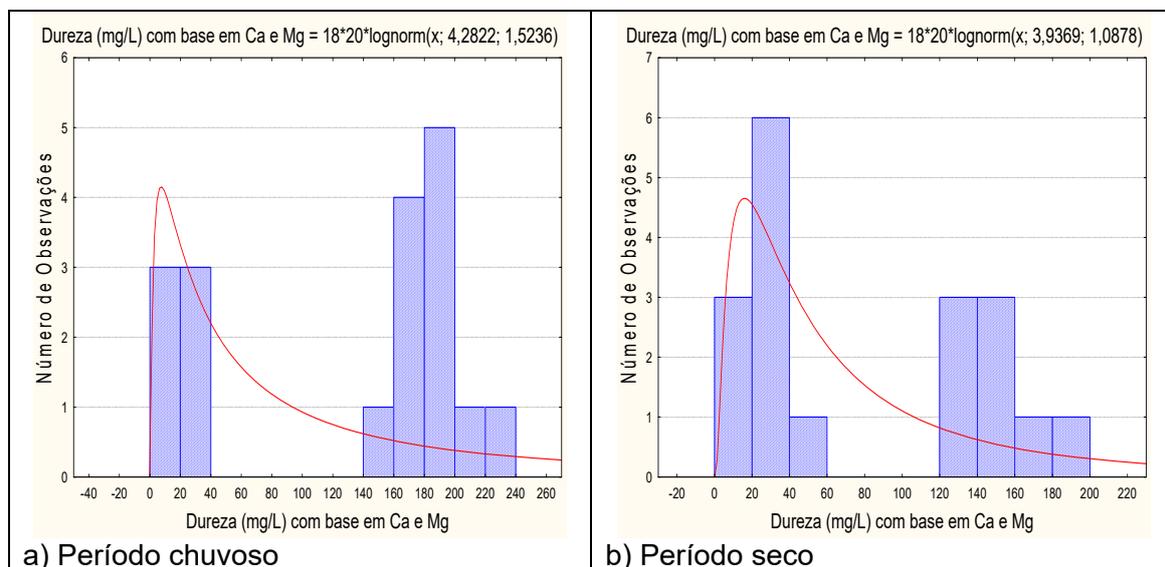


Figura 5.19 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Isto provavelmente se deve a influência das águas da baía de Guajará, que inundam a região, pois de acordo com Ramos (2004), a baía de Guajará e o rio Guamá apresentam características que permitem incluí-los nas classes de água branca, as quais de acordo com Sioli (1985) são as águas amazônicas que possuem intensa produção primária devido a sua riqueza em cátions como cálcio, potássio e magnésio, por conta da elevada carga de sedimentos argilosos em suspensão vinda do Andes.

Tabela 5.38 – Distribuição de probabilidade da Dureza do Aquífero Barreiras no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
D-1	72,40	20,08	10,27	5,91	3,17	2,09
D-2	51,26	20,52	12,72	8,56	5,49	4,08
Razão	1,4	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5

Aliado a isso, os teores mais elevados de dureza no período chuvoso são coerentes, pois a dureza se baseia em teores de cálcio e de magnésio, e como esses dois parâmetros foram relevantes no período chuvoso é de se esperar que a dureza apresentasse o mesmo comportamento.

5.8.11 – Compostos Nitrogenados

5.8.11.1 - Nitrato

A **tabela 5.39** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas do aquífero Barreiras nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variam de 0,09 a 8,11 mg/L, com média de 1,21 mg/L e mediana igual a 0,10 mg/L. No período seco, os teores variam de 0,09 a 6,82 mg/L, com média de 2,19 mg/L e mediana de 0,79 mg/L.

Tabela 5.39 – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Barreiras no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	18	1,21	-0,07	2,48	0,10	0,09	8,11	2,57	0,61	2,34
N-2	18	2,19	0,95	3,42	0,79	0,09	6,82	2,48	0,58	0,78

Na primeira campanha, 67% (12/18) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L.

Na segunda campanha, 27% (4/18) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L; e outros 27% (4/18) abaixo do limite de detecção de 0,2 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Nenhuma das amostras analisadas nas duas campanhas ultrapassou VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.11**), assim como estiveram dentro dos padrões indicados para consumo humano, dessedentação animal e recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.11**).

Os histogramas de frequência de nitrato ilustrados na **figura 5.20** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela com, diferentes riscos (**tabela 5.40**), que os teores de nitrato no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade, pois a razão obtida entre as duas campanhas é inferior a 1 (um).

Nesse sentido, acredita-se que tal premissa seja coerente, pois na primeira e segunda campanha, respectivamente, 67% e 44% dos valores de nitrato estiveram abaixo do LD. Então se supõe que os maiores teores quantificáveis de nitrato na segunda campanha se devem não a sazonalidade, mas unicamente a influência antrópica, pois com a cessação do período de cheias, a capacidade de autodepuração é reduzida e conseqüentemente os poluentes presentes se elevam.

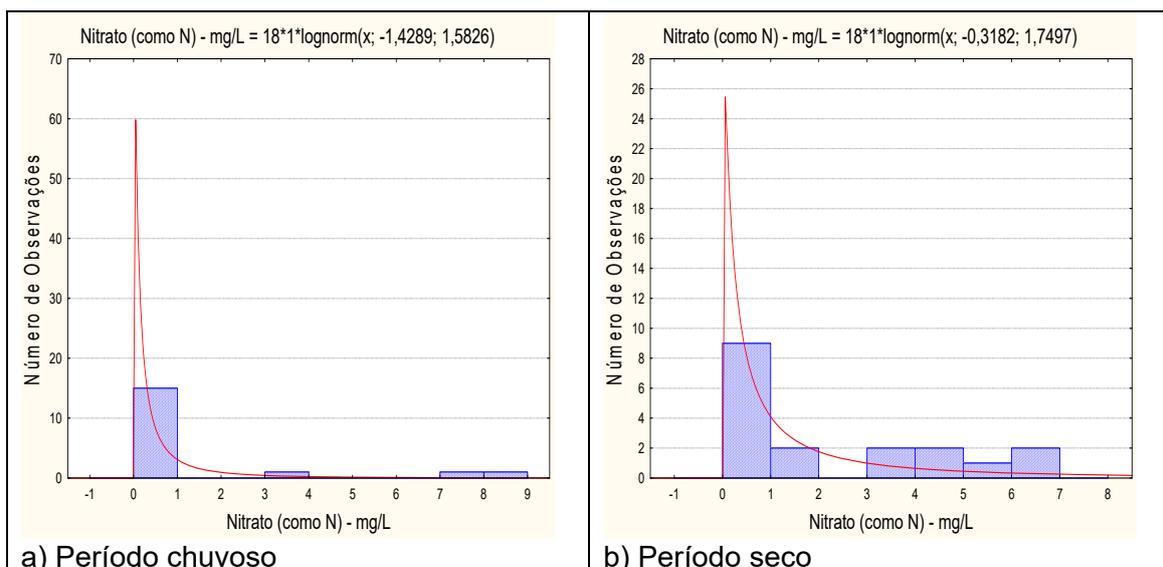


Figura 5.20 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Vale ressaltar também que apesar dos teores de nitrato não ultrapassarem os padrões organolépticos de potabilidade, a sua presença nas águas do aquífero Barreiras nas duas campanhas sugere contaminações oriundas de esgoto *in natura*, pois segundo Bahia *et al.* (2008), a fonte de poluição dos aquíferos da região metropolitana de Belém é decorrente da contaminação feita pela rede de coleta de esgoto sem tratamento, pois é despejada diretamente um volume diário de 18,294 m³/dia nos igarapés e canais que drenam grande parte da metrópole, se destinando a baía de Guajará e ao rio Guamá.

Tabela 5.40 – Distribuição de probabilidade do Nitrato do Aquífero Barreiras no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,240	0,063	0,032	0,018	0,009	0,006
N-2	0,727	0,167	0,077	0,041	0,020	0,012
Razão	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5

De acordo com Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato, que possui grande mobilidade no solo, alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando. O nitrato por possuir essas características, se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

5.8.11.2 – Nitrito

A **tabela 5.41** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrito presentes nas águas subterrâneas do aquífero Barreiras nas duas campanhas de amostragem realizadas.

No período chuvoso (abril de 2012), todos os poços amostrados, ou seja, 100% (18/18) das amostras, tiveram concentrações de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L.

No período seco (outubro de 2012), 89% (16/18) das amostras apresentaram teores de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L; enquanto 11% (2/18) das amostras apresentaram teores de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,04 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Tabela 5.41 – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Barreiras no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrito	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	18	0,02	-	-	0,02	0,02	0,02	3,57E-18	8,41E-19	-1,09
N-2	18	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	6,47E-03	1,52E-03	2,71

Em ambas as campanhas, todas as amostras analisadas apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, assim como, poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, em relação a esse parâmetro (**item 2.11**).

Nos histogramas de frequência de nitrito (**figura 5.21**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril de 2012, não houve necessidade de modelagem desse parâmetro por uma função de distribuição de probabilidade, pois todos os valores são constantes, ou seja, abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L. O mesmo comportamento ocorre na segunda campanha com 89% dos valores abaixo do LD de 0,02 mg/L e 11% dos valores abaixo do LD de 0,04 mg/L.

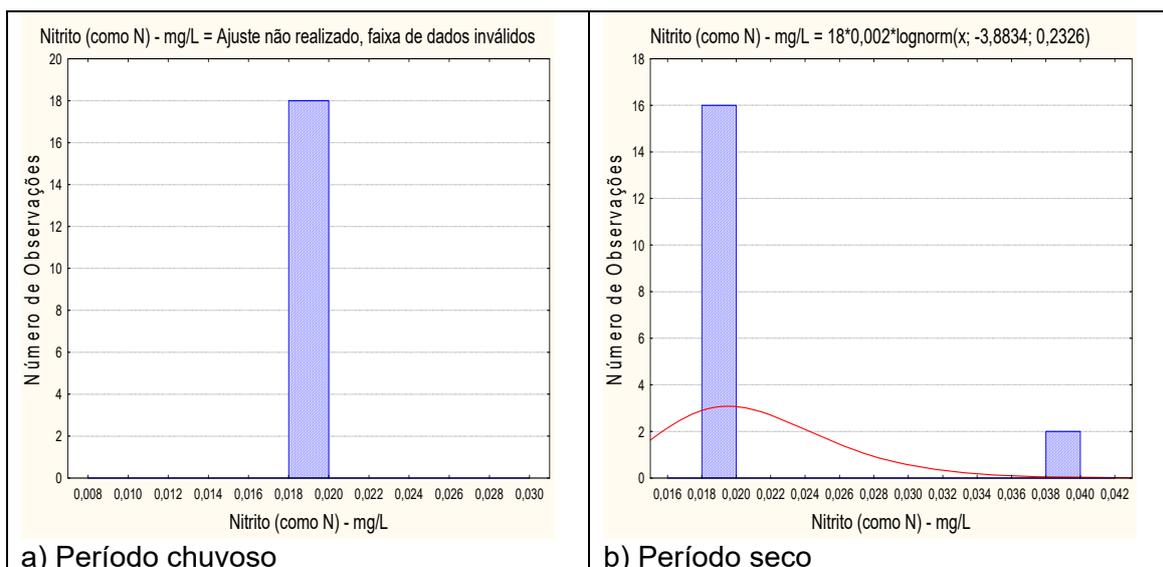


Figura 5.21 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

O modelo de fdp revela um viés estatístico para nitrito com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.42**). Dessa forma, com base nos dados de média e valor máximo considera-se que os valores de nitrito no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Contudo, tal resultado não condiz com a realidade, pois todos os valores de nitrito em ambas as campanhas de amostragem se apresentaram abaixo do limite de detecção. Sendo assim, admite-se que não há influência da sazonalidade para os teores de nitrito no aquífero Barreiras.

Tabela 5.42 – Distribuição de probabilidade do Nitrito do Aquífero Barreiras no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
N-2	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Razão	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do Aquífero Barreiras são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlfs (2010), nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores geralmente abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

5.8.11.3 - Amônia

A **tabela 5.43** mostra a estatística descritiva dos teores de amônia presentes nas águas subterrâneas do aquífero Barreiras nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de amônia variam de 0,09 a 1,6 mg/L, com média de 0,29 mg/L e mediana de 0,09 mg/L. No

período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 7,8 mg/L, com média de 1,19 mg/L e mediana de 0,10 mg/L.

Na primeira coleta, 72% (13/18) das amostras apresentaram valores de amônia inferiores ao limite de detecção de 0,1 mg/L; enquanto que na segunda coleta, 39% (7/18) dos poços tiveram resultados de amônia abaixo do limite de detecção.

Tabela 5.43 – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Barreiras no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

Amônia	N	Média	Confiança 95%	Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
A-1	18	0,29	0,07	0,50	0,09	1,6	0,43	0,10	2,23
A-1	18	1,19	0,09	2,27	0,09	7,8	2,19	0,52	2,33

Na primeira e segunda campanha, respectivamente, 6% (1/18) e 22% (4/18) das amostras analisadas apresentaram valores de amônia que ultrapassaram o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L (item 2.11).

Os histogramas de frequência de amônia ilustrados na **figura 5.22** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para amônia com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.44**). Dessa forma, com base nos dados de média, mediana e valor máximo, considera-se que os valores de amônia no período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Contudo, acredita-se que os resultados ora apresentados se devem a influência antrópica, pois cerca de 72% e 39% dos valores respectivamente na primeira e segunda campanha estiveram abaixo do LD de amônia.

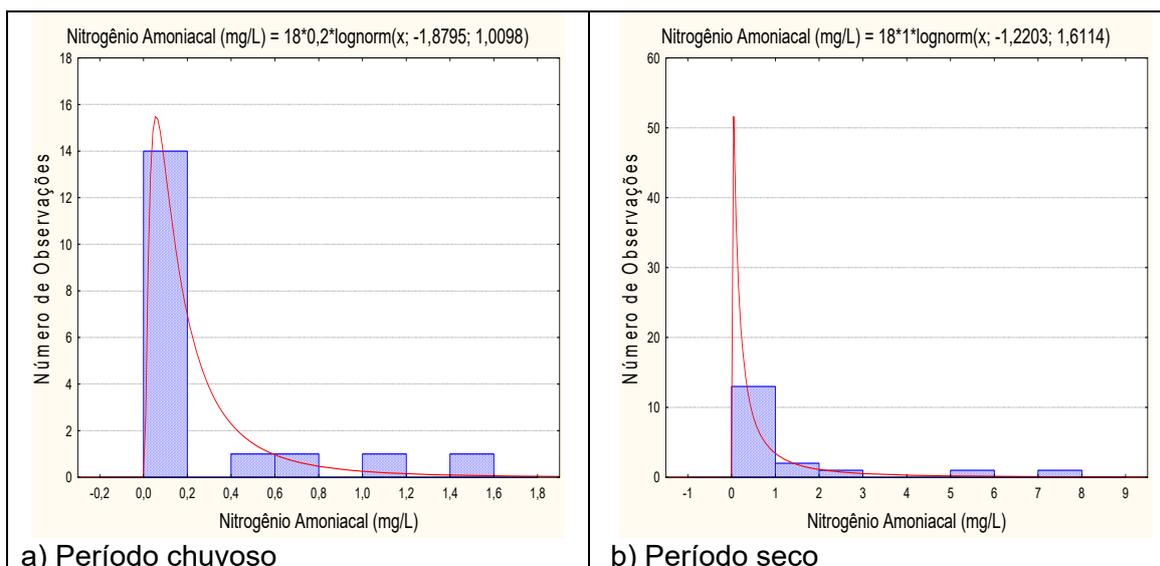


Figura 5.22 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Isto provavelmente ocorre, pois a área de estudo está localizada nas proximidades da baía de Guajará, principal receptor de esgoto não tratado da região metropolitana de Belém (**item 5.2**). Sendo assim, com a cessação do período de chuvas, a constante renovação das águas é diminuída, bem como a diluição dos elementos ali presentes, o que ocasiona o incremento dos teores de amônia no período seco.

De acordo com Alaburda & Nishihara (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido a sua fácil adsorção por partículas do solo ou a oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

Tabela 5.44 – Distribuição de probabilidade da Amônia do Aquífero Barreiras no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
A-1	0,153	0,065	0,042	0,029	0,019	0,015
A-2	0,295	0,076	0,037	0,021	0,011	0,007
Razão	0,5	0,9	1,1	1,4	1,8	2,1

5.8.12 – Ferro e Manganês

5.8.12.1 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro nas águas subterrâneas do aquífero Barreiras (**tabela 5.45**) mostra no período chuvoso valores compreendidos entre 0,00009 e 5,49 mg/L, com média de 0,83 mg/L e mediana de 0,46 mg/L. No período seco, a faixa de variação é de 0,0121 a 4,55 mg/L, com média de 0,53 mg/L e mediana de 0,22 mg/L.

Tabela 5.45 – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

Fe	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Fe-1	18	0,83	0,1745	1,47	0,46	0,00009	5,49	1,31	0,31	3,12
Fe-2	18	0,53	0,0008	1,05	0,22	0,0121	4,55	1,06	0,25	3,62

Na primeira campanha, 6% (1/18) das amostras apresentaram teores de ferro abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L.

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 72% (13/18) dos poços no período chuvoso e 44% (8/18) no período de estiagem apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Além disso, 6% (1/18) dos poços amostrados na primeira campanha apresentaram teores de ferro que ultrapassaram os limites recomendados para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Os histogramas de frequência de ferro ilustrados na **figura 5.23** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para ferro com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 5.46**). Dessa forma, com base nos dados de média, mediana e valor máximo considera-se que os teores de ferro no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

Os altos teores de ferro obtidos na área de estudo são justificáveis, pois de acordo com Gregório & Mendes (2009), a baía de Guajará é suprida por sedimentos arenosos, de coloração avermelhada devido ao capeamento por óxido de ferro, que tem como rocha-fonte o arenito ferruginoso conhecido como "grés-do-Pará", na Formação Barreiras.

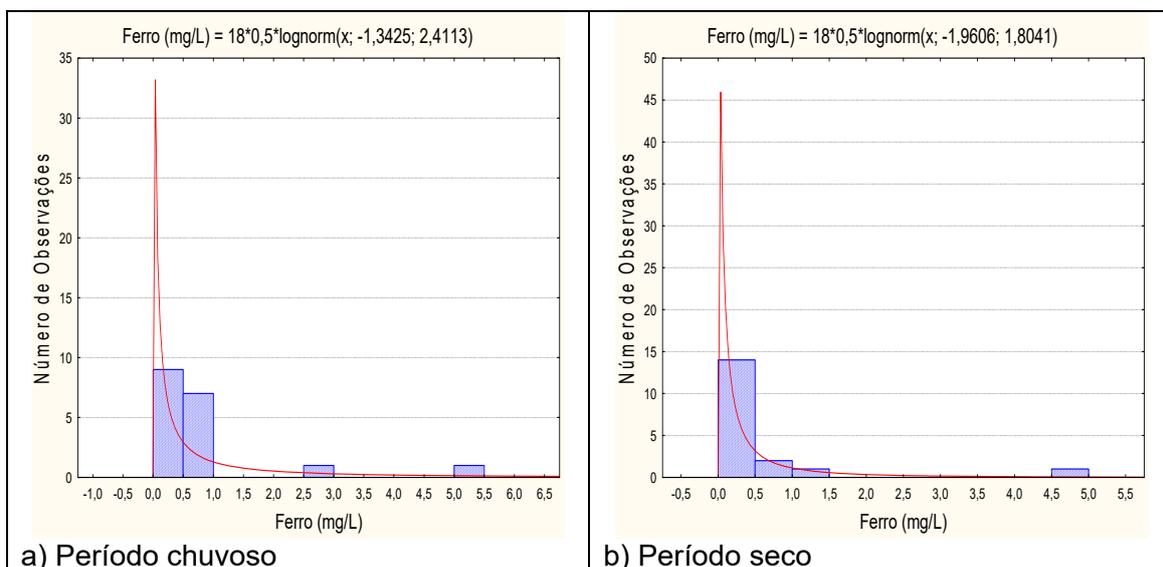


Figura 5.23 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Outro fator que contribui para os elevados teores de ferro na área de estudo é a composição química dos sedimentos < 2 µm do rio Barcarena na baía de Guajará, que é composta principalmente por SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ (como ferro total), de acordo com Porto (2009).

Tabela 5.46 – Distribuição de probabilidade do Ferro do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Fe-1	0,261	0,034	0,012	0,005	0,002	0,001
Fe-2	0,141	0,031	0,014	0,007	0,003	0,002
Razão	1,9	1,1	0,9	0,7	0,5	0,5

De modo geral, os aquíferos da PHA apresentam altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea, os quais resultam principalmente das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas, conforme descrito no **item 2.12**.

5.8.12.2 – Manganês

A estatística descritiva das concentrações de manganês nas águas subterrâneas do aquífero Barreiras (**tabela 5.47**) revela que os teores de manganês no período chuvoso variam de 0,0017 a 0,1977 mg/L, com média de 0,10 mg/L e mediana igual a 0,12 mg/L. No período seco, os valores ficam entre um mínimo de 0,0009 e um máximo de 0,2213 mg/L, com média igual a 0,06 mg/L e a mediana igual a 0,007 mg/L.

Tabela 5.47 – Estatística descritiva do Manganês do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

Mn	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mn-1	18	0,10	0,65	0,13	0,12	0,0017	0,1977	0,07	0,02	-0,31
Mn-2	18	0,06	0,02	0,10	0,007	0,0009	0,2213	0,07	0,02	0,96

Na segunda campanha, 22% (4/18) das amostras apresentaram teores de manganês abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L.

Observou-se que 61% (11/18) e 22% (4/18) dos poços, respectivamente na primeira e segunda campanha, apresentaram teores de manganês acima do VMP de 0,1 mg/L estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, bem como ultrapassaram os limites previstos na Resolução CONAMA 396/2008, no que se refere aos usos da água para consumo humano e recreação (**item 2.12**).

Além disso, 67% (12/18) dos poços amostrados no período chuvoso e 44% (8/18) dos poços no período de estiagem apresentaram teores de manganês que ultrapassaram os limites recomendados para dessedentação animal, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Na segunda campanha, 6% (1/18) dos poços ultrapassaram o limite recomendado para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Os histogramas de frequência de manganês (**figura 5.24**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Essa função permitiu estimar, com risco calculado, os valores de manganês no aquífero Barreiras (**tabela 5.48**), onde se verificou que os maiores teores ocorrem no período chuvoso, o que reflete alguma influência de sazonalidade, haja vista que a razão dos valores obtidas nas duas campanhas é superior a 1 (um).

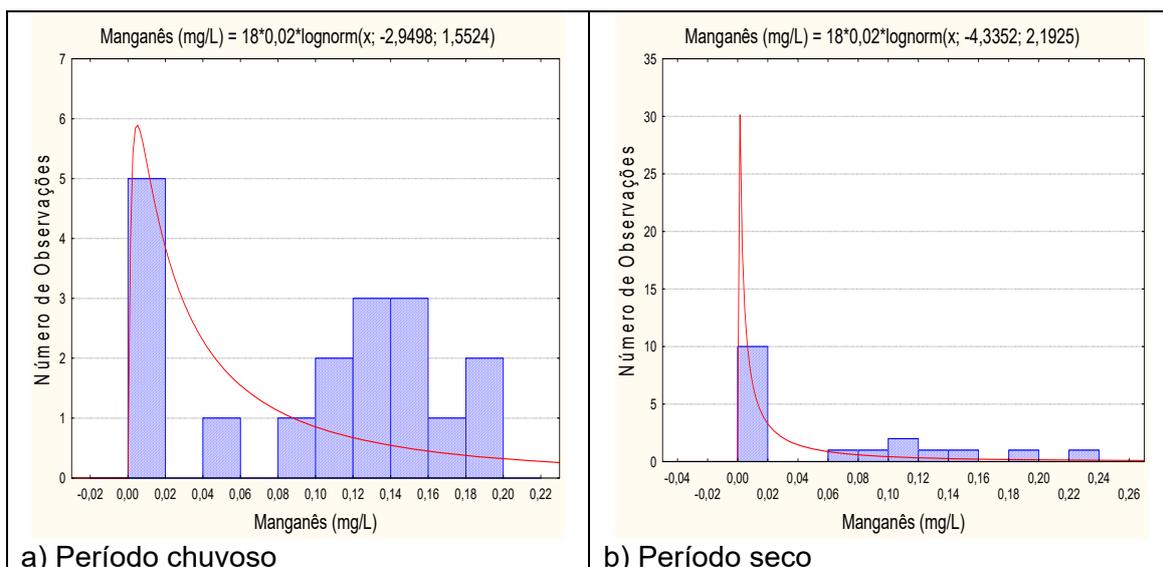


Figura 5.24 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Barreiras, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados obtidos no aquífero Barreiras são coerentes, pois de acordo Parron *et al.* (2011), o ferro e o manganês são elementos que apresentam comportamento químico muito parecido na natureza, e em virtude de afinidades geoquímicas quase sempre ocorrem juntos.

Tabela 5.48 – Distribuição de probabilidade do Manganês do Aquífero Barreiras no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Mn-1	0,0524	0,0142	0,0072	0,0041	0,0022	0,0014
Mn-2	0,0131	0,0021	0,0008	0,0004	0,0001	0,0001
Razão	4,0	6,9	9,1	11,4	14,9	17,7

De acordo com Feitosa *et al.* (2008), o manganês frequentemente está presente com baixos teores, <0,2 mg/L em quase todas as águas naturais, sendo mais abundante nas águas ácidas, o que é plausível na área de estudo, haja vista que as águas do aquífero Barreiras se caracterizam essencialmente como ácidas, com pH médio de 6,2.

5.8.13 – Isótopos Ambientais

5.8.13.1 – Oxigênio 18 e Deutério

Em hidrologia isotópica, a **equação 2.2** que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig (1961) é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas, conforme pode ser observado no **item 2.15.1**. Contudo, especificamente no caso do aquífero Barreiras, não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem a 1 (um) único ponto de amostragem (**tabela 5.49**), não sendo portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**.

Tabela 5.49 – Valores de oxigênio-18 e deutério obtido na amostra coletada no aquífero Barreiras no período seco (outubro de 2012).

Poço	$\delta^{18}O_{\text{‰}}$	$\delta D_{\text{‰}}$
BEL006	-4,38	-21,96

5.8.13.2 – Trício

Clark & Fritz (1997) realizaram uma proposta de interpretação qualitativa de dados de ^3H para dados de regiões costeiras e de baixa latitude, onde é feita uma relação entre os valores de unidades de trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**), conforme descrito no **item 2.15.2**.

Sendo assim, com base nessa relação e no dado de ^3H obtido em 1 (uma) amostra coletada no aquífero Barreiras (**figura 5.25**), é possível verificar que o aquífero possui mistura de água submoderna com recarga anterior a 1952.

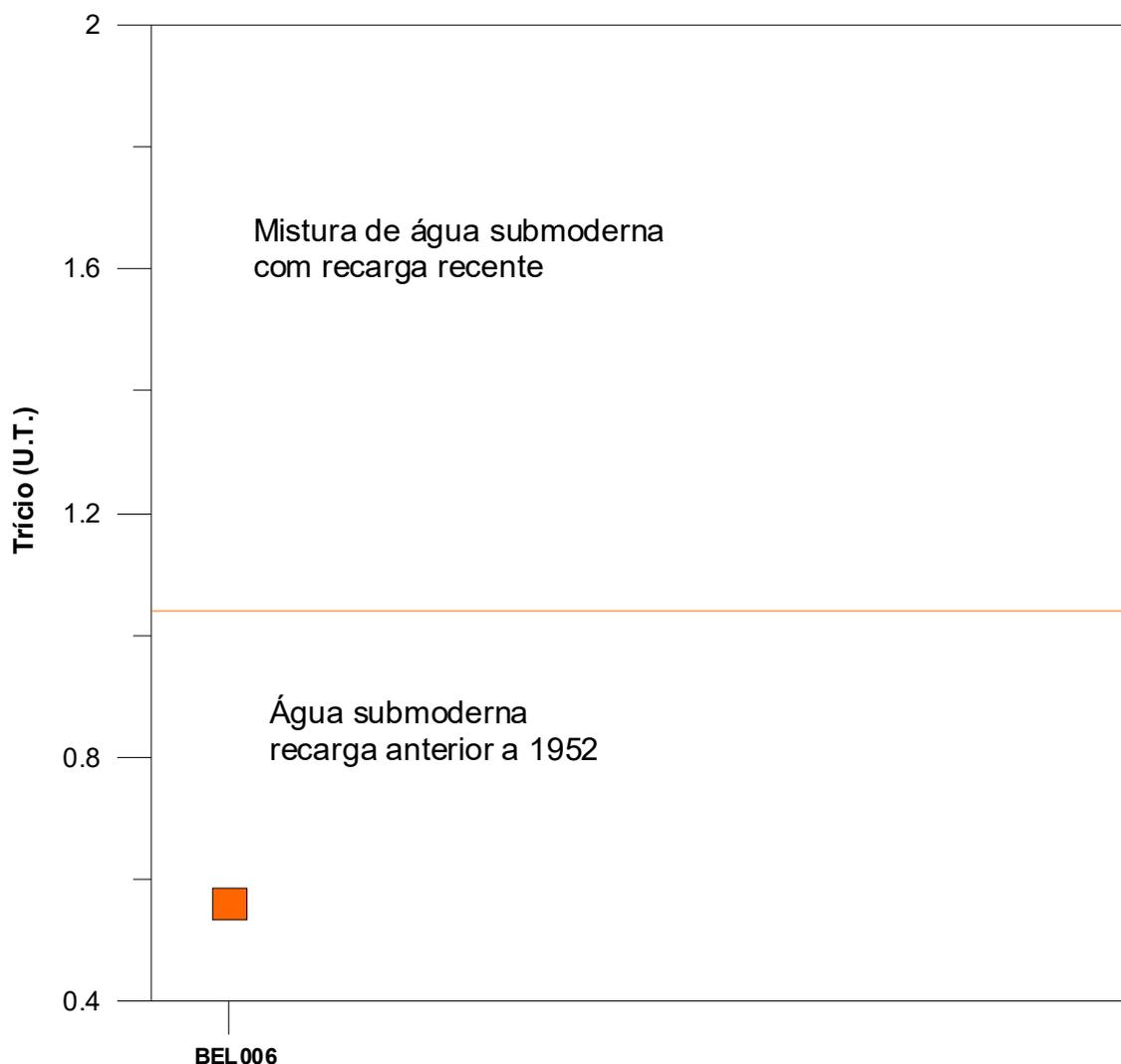


Figura 5.25 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Barreiras, segundo o dado de trício de 1 (uma) amostra coletada.

5.8.13.3 – Carbono 14

De acordo com a metodologia proposta por Münnich (1957), descrita no **item 2.15.3** e com base nos dados contidos na **tabela 5.50**, o diagrama da **figura 5.26** indica que no aquífero Barreiras ocorre a presença de paleoáguas no poço BEL023 (21250 BP), isto é, águas com tempo de residência superior a 200 anos. Isto sugere a existência de águas mais antigas, o que é coerente, pois a paleoágua foi coletada em poço cujo intervalo da profundidade da seção filtrante é de 221 a 242 m.

Tabela 5.50 – Idade aparente ou convencional do radiocarbono (^{14}C) em anos BP (*before present* – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (*percent modern carbon*).

Resultado	BEL023
Idade Aparente C14 (Fração Moderna)	21250+/-100 BP
Fmdn - fração de carbono moderno	0,0710 +/-0,0009
Razão C13/C12 (‰)	-15,7

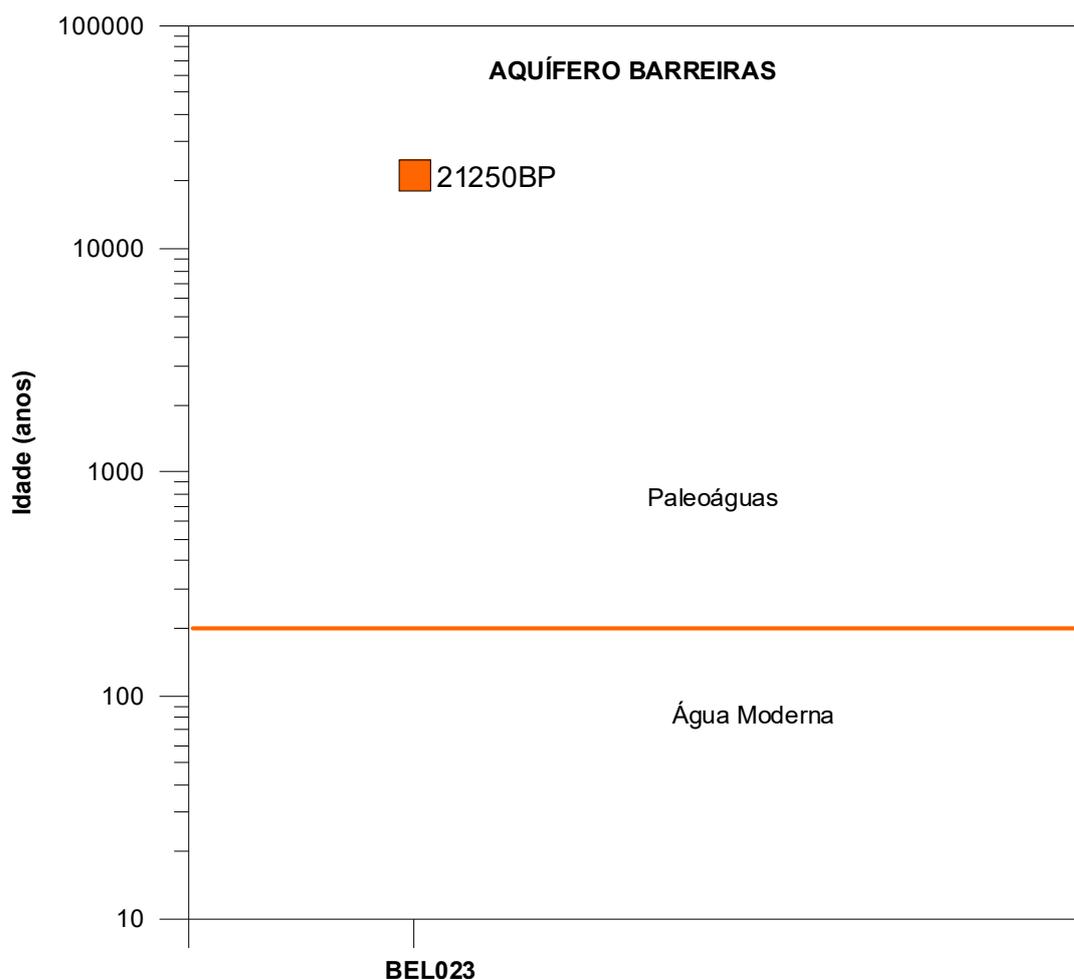


Figura 5.26 – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Barreiras.

5.8.13.4 - Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no aquífero Barreiras permitiram alcançar os seguintes resultados:

- Não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem a 1 (um) único ponto de amostragem, não sendo, portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**;
- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) e indicaram que as águas do aquífero Barreiras têm mistura de água submoderna com recarga anterior a 1952;
- A datação radiométrica de Carbono-14 revelou a presença de paleoáguas, com tempo de residência superior a 200 anos.

5.8.14 – Parâmetros Biológicos

Coliformes Totais

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano, a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Barreiras, apresentaram em 61% (11/18) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 39% (7/18) das amostras.

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, 39% (7/18) dos poços na primeira campanha e 61% (11/18) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano, o que é extremamente preocupante, haja vista que a população da área de estudo utiliza a água dos poços para todos os usos, principalmente o doméstico.

Tais resultados ocorrem no aquífero Barreiras, pois a área de estudo está inserida numa região bastante urbanizada, onde a baía de Guajará é considerada um dos maiores corpos receptores de esgoto da região metropolitana de Belém, conforme descrito no **item 5.2**.

Isso é extremamente preocupante, pois segundo Zoby (2008), a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

Escherichia Coli

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais

sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Barreiras apresentaram em 33% (6/18) dos casos a presença de *E. coli*, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 6% (1/18) das amostras.

Com base nos resultados das análises, verifica-se que 67% (12/18) dos poços na primeira campanha e 94% (17/18) na segunda campanha apresentaram padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como, nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as suas águas podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**).

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo, da falta de manutenção do reservatório, localização inadequada do poço e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

Dessa forma, fica evidente que a presença de *E. coli* no aquífero Barreiras se deve ao lançamento de esgoto *in natura*, porque segundo Bahia *et al.* (2008), a fonte de poluição dos aquíferos da região metropolitana de Belém é decorrente da contaminação feita pela rede de coleta de esgoto sem tratamento.

5.8.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Barreiras Segundo a Composição Química

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e até polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Barreiras, com base nos dados coletados na rede de 18 (dezoito) poços de monitoramento, em duas campanhas: a primeira, no período chuvoso (abril de 2012) e a segunda no período de estiagem (outubro de 2012).

5.8.15.1 – Diagrama Triangular de Piper

Período chuvoso

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 5.27** e **tabela 5.51**, é possível identificar que as águas do Aquífero Barreiras, no período chuvoso de abril de 2012, no que se refere aos cátions são 67% (12/18) cálcicas, 17% (3/18) sódicas e 17% (3/18) mistas. Já no que concerne a presença de ânions, as águas são 6% (1/18) sulfatadas, 67% (12/18) bicarbonatadas, 22% (4/18) cloretadas e 6% (1/18) mistas.

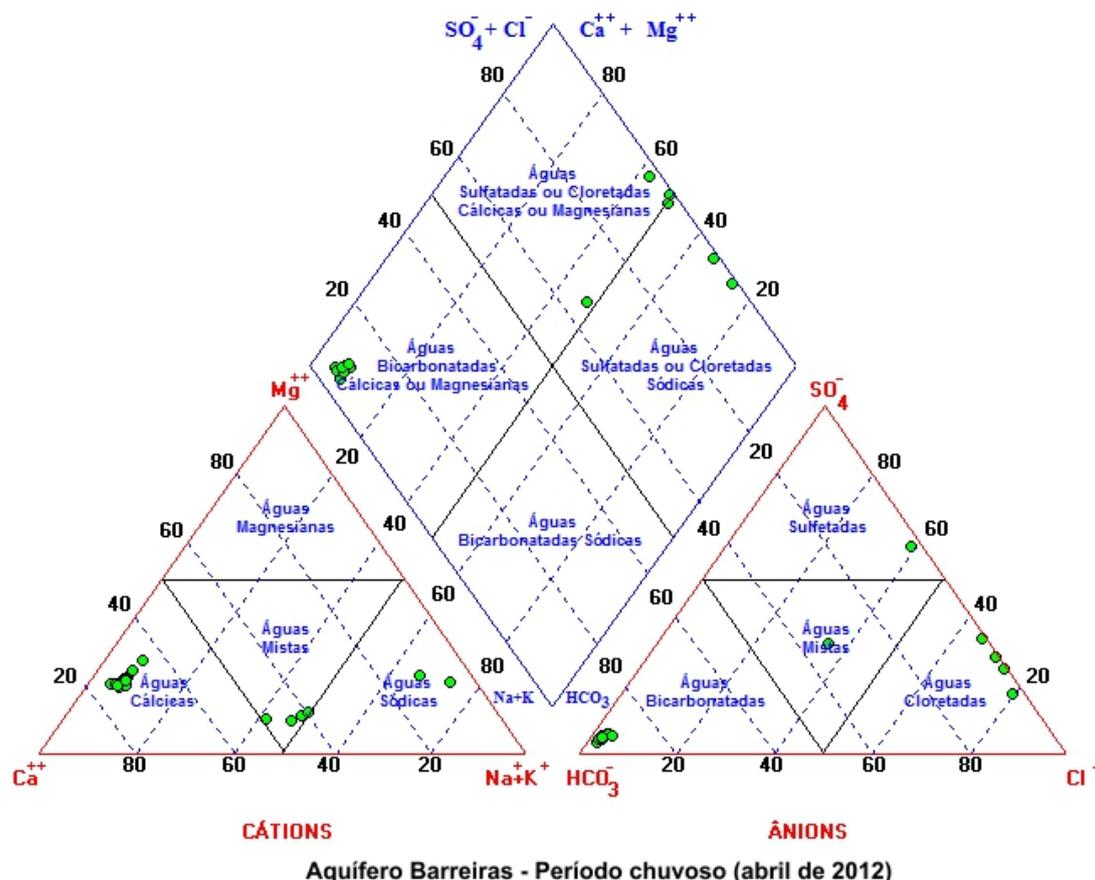


Figura 5.27 – Classificação das águas do aquífero Barreiras coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.

De modo geral, as águas do aquífero Barreiras no período chuvoso (abril de 2012) são classificadas em três classes: bicarbonatadas cálcicas (67%), cloretadas sódicas (17%) e cloretadas ou sulfatadas cálcicas (17%), como pode ser observado na **tabela 5.51**.

Tabela 5.51 - Classificação das Águas do Aquífero Barreiras segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).

Cátions	Poços	%	Anions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfatadas	1	6	Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcidas	3	17
Águas Cálcidas	12	67	Águas Bicarbonatadas	12	67	Águas Bicarbonatadas Cálcidas	12	67
Águas Sódicas	3	17	Águas Cloretadas	4	22	Águas Bicarbonatadas Sódicas	0	0
Águas Mistas	3	17	Águas Mistas	1	6	Águas Cloretadas Sódicas	3	17

Período de estiagem

De acordo com a **figura 5.28** e **tabela 5.52** verifica-se que as águas do Aquífero Barreiras, no período seco de outubro de 2012, quanto à presença de cátions, são 67% (12/18) cálcicas, 17% (3/18) sódicas e 17% (3/18) mistas. Com relação aos ânions é possível identificar que 6% (1/18) das águas são sulfatadas, 56% (10/18) bicarbonatadas, 22% (4/18) são cloretadas e 17% (3/18) são mistas.

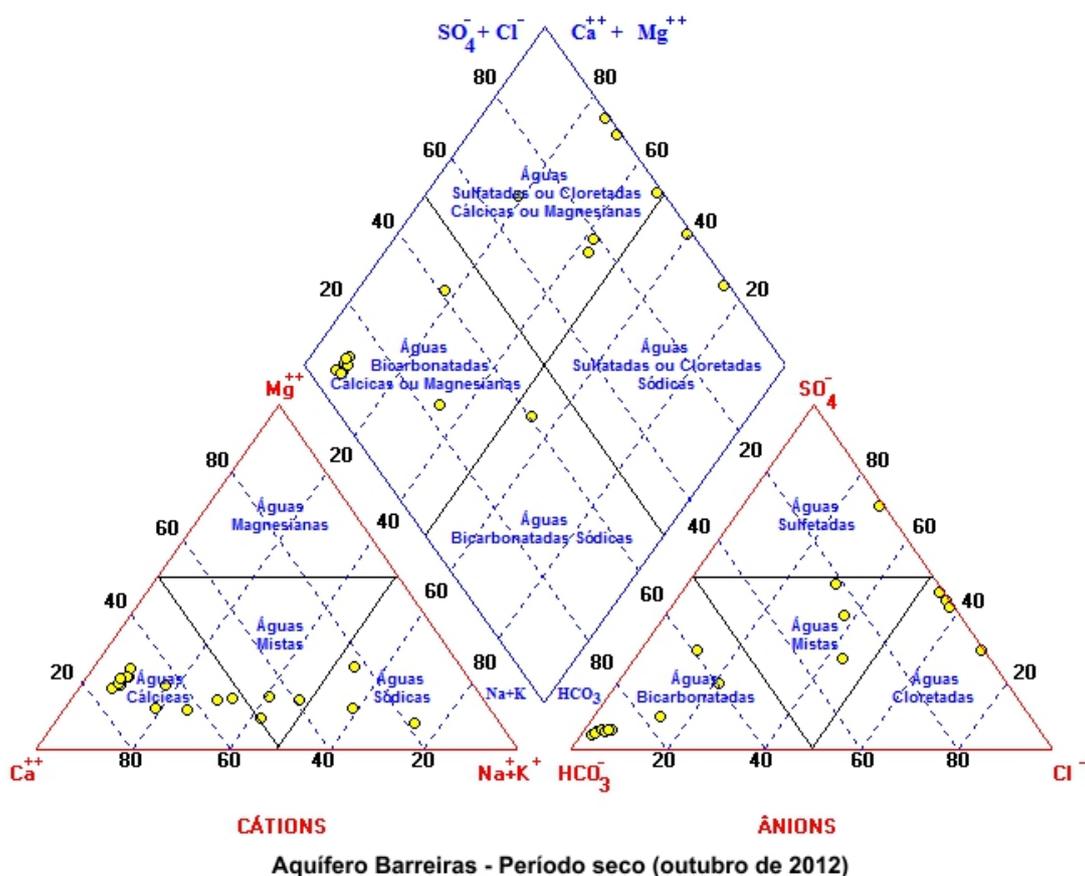


Figura 5.28 – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Barreiras, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.

Mediante análise dos dados coletadas no período seco, em outubro de 2012 (**tabela 5.52**), é possível afirmar que, de modo geral, as águas do aquífero Barreiras se classificam em bicarbonatadas cálcicas (50%), cloretadas ou sulfatadas cálcicas (33%), cloretadas sódicas (11%) e bicarbonatadas sódicas (6%).

Tabela 5.52 - Classificação das Águas do Aquífero Barreiras, de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).

Cátions	Poços	%	Anions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfatadas	1	6	Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcicas	6	33
Águas Cálcicas	12	67	Águas Bicarbonatadas	10	56	Águas Bicarbonatadas Cálcicas	9	50
Águas Sódicas	3	17	Águas Cloretadas	4	22	Águas Bicarbonatadas Sódicas	1	6
Águas Mistas	3	17	Águas Mistas	3	17	Águas Cloretadas Sódicas	2	11

Com base nos dados obtidos nas duas campanhas de amostragem, verificou-se que a composição química das águas do aquífero Barreiras não se modifica com a sazonalidade, uma vez que a maioria das amostras apresentaram águas do tipo *Bicarbonatadas Cálcicas*.

5.8.15.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012, em 18 poços situados no aquífero Barreiras, foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos os íons predominantes no local.

Período chuvoso

Os resultados da primeira campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Barreiras segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 5.53**.

Tabela 5.53 - Classificação das Águas do Aquífero Barreiras, de acordo com a predominância de íons - Período chuvoso (abril de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Bicarbonatada Cálcica	12	67
Água Cloretada Sódica	5	28
Água Sulfatada Cálcica	1	6

Verificou-se que as amostras do aquífero Barreiras coletadas no período chuvoso (abril de 2012) são 67% (12/18) bicarbonatadas cálcicas (**figura 5.29a**), 28% (5/18) cloretadas sódicas (**figura 5.29b**); e 6% (1/18) sulfatada cálcica (**figura 5.29c**). Tais dados permitem classificar as águas do Aquífero Barreiras, em abril de 2012, na sua maioria como *Bicarbonatadas Cálcicas*.

Aquífero Barreiras (Águas Bicarbonatadas Cálcicas) – abril de 2012

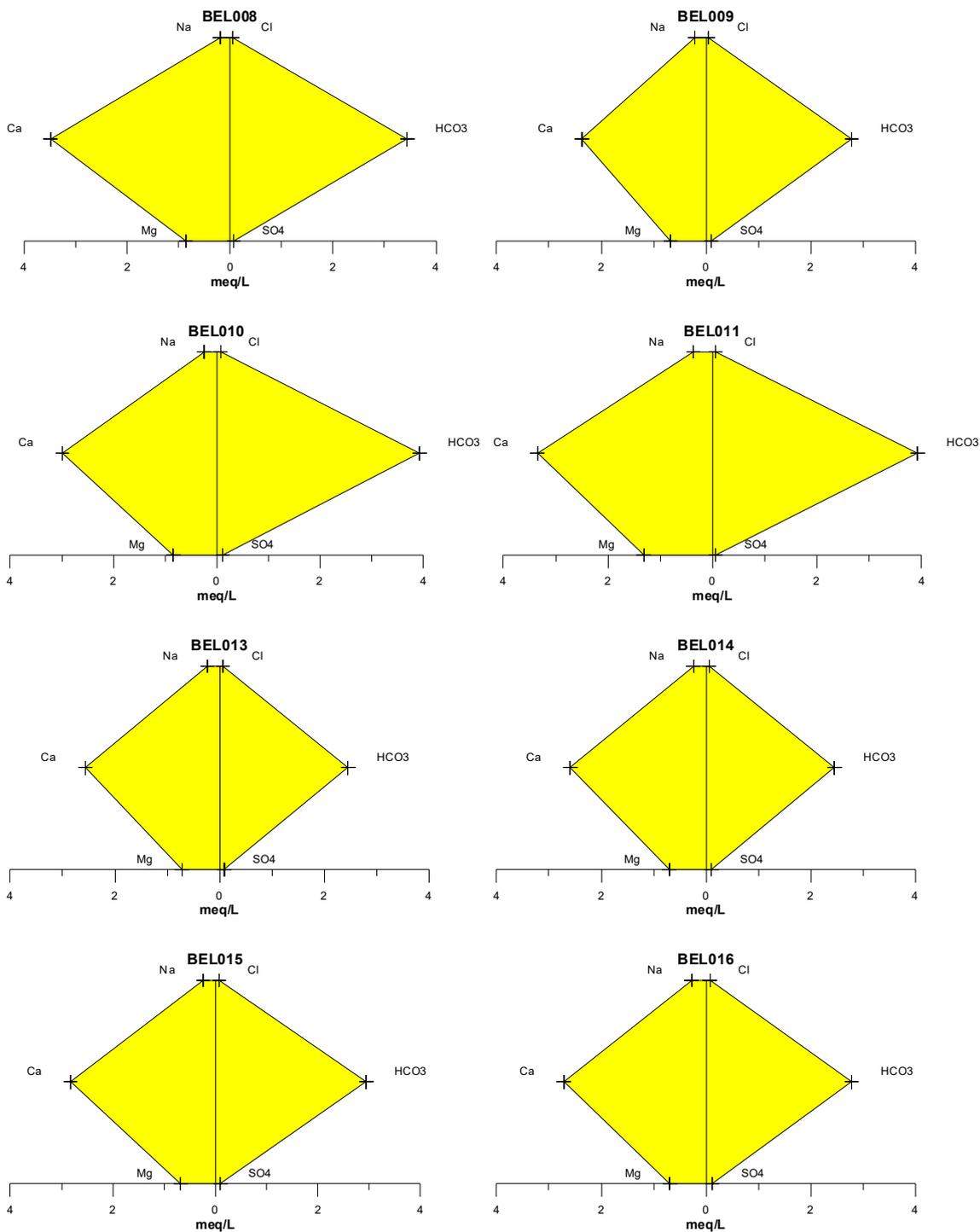


Figura 5.29a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Barreiras.

Continuação

Aquífero Barreiras (Águas Bicarbonatadas Cálcicas) – abril de 2012

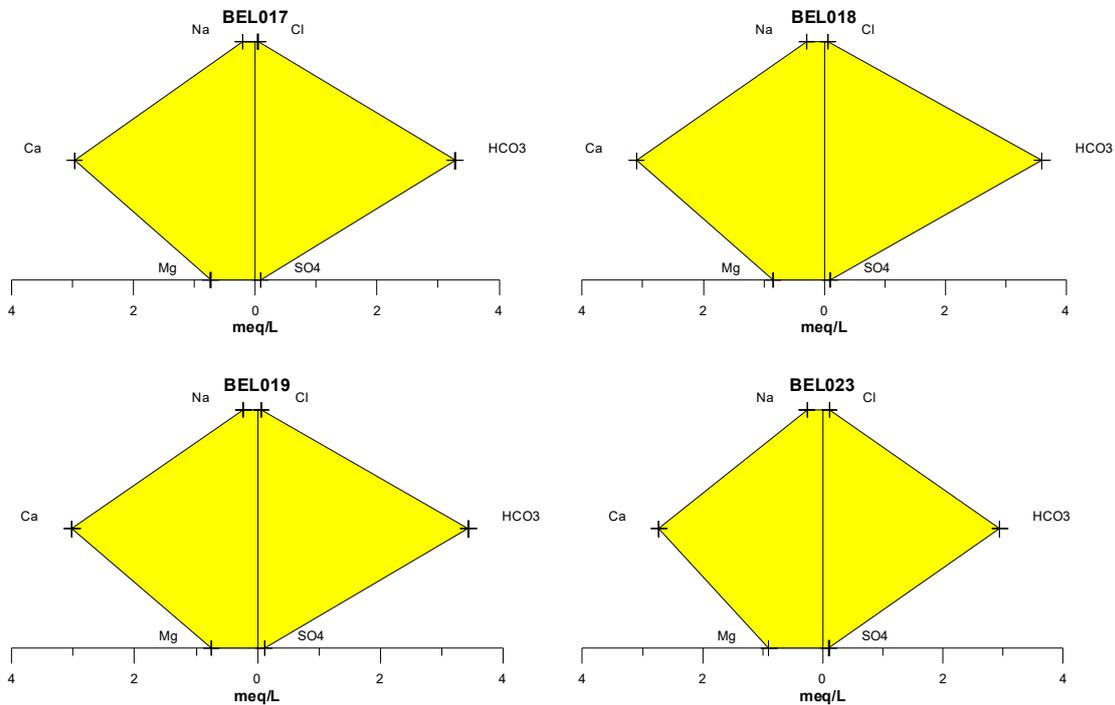


Figura 5.29a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Barreiras (Continuação).

Aquífero Barreiras (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

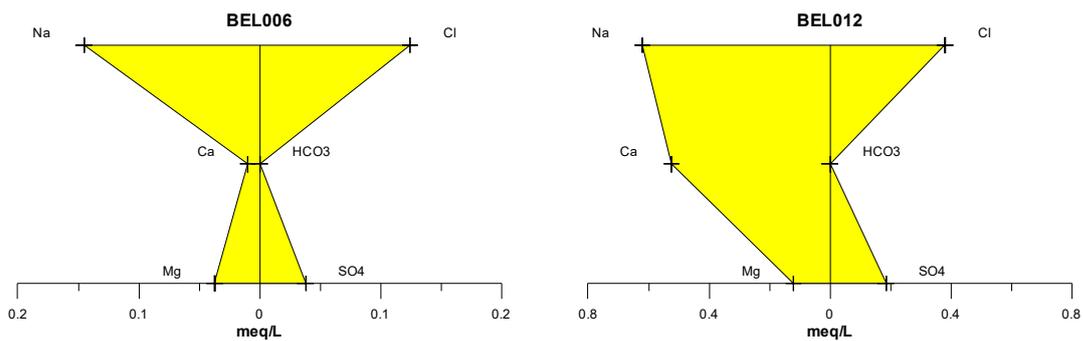


Figura 5.29b – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Barreiras.

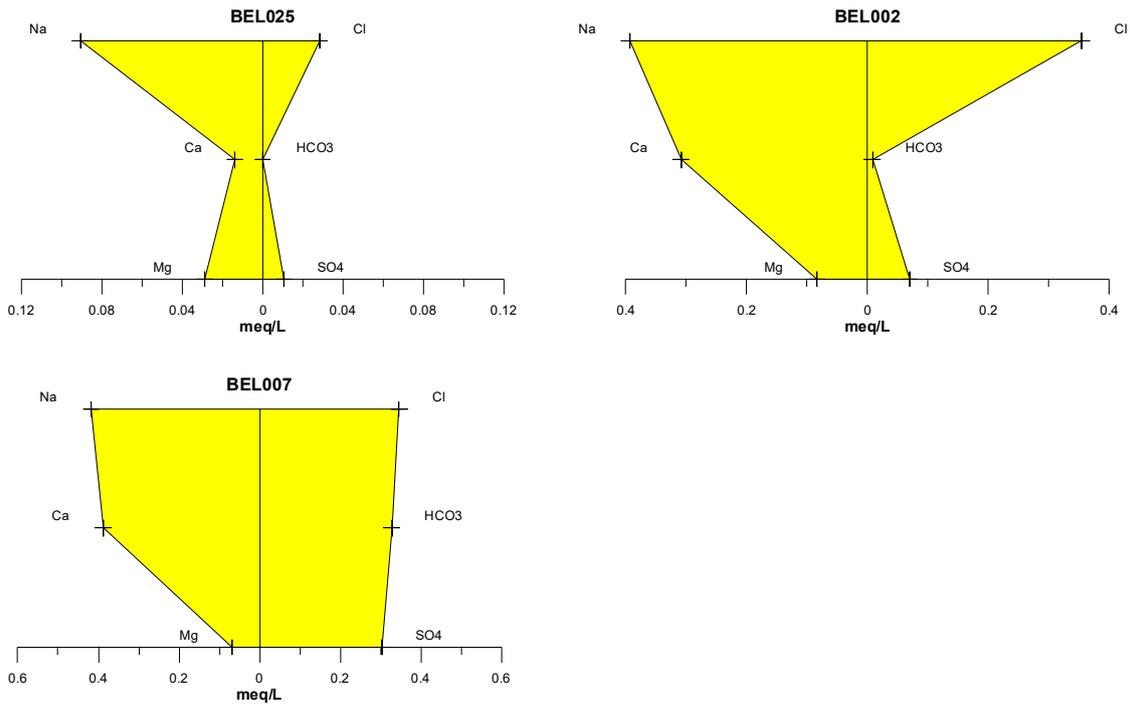


Figura 5.29b – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Barreiras (Continuação).

Aquífero Barreiras (Água Sulfatada Cálcica) – abril de 2012

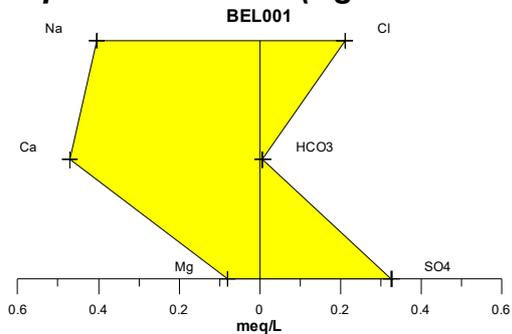


Figura 5.29c – Água sulfatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Barreiras.

Período de estiagem

Os resultados da segunda campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Barreiras segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 5.54**.

Tabela 5.54 - Classificação das Águas do Aquífero Barreiras, de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Bicarbonatada Cálcica	9	50
Água Cloretada Sódica	3	17
Água Cloretada Cálcica	2	11
Água Sulfatada Cálcica	3	17
Água Bicarbonatada Sódica	1	6

Analisando os resultados das amostras do aquífero Barreiras, coletadas no período seco em outubro de 2012, verificou-se que 50% (9/18) das águas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas (**figura 3.30a**); 17% (3/18) cloretadas sódicas (**figura 3.30b**); 11% (2/18) cloretada cálcica (**figura 3.30c**); 17% (3/18) sulfatada cálcica (**figura 3.30d**) e 6% (1/18) bicarbonatada sódica (**figura 3.30e**). Tais dados permitem classificar as águas do Aquífero Barreiras em outubro de 2012 na sua maioria como *Bicarbonatadas Cálcicas*.

Aquífero Barreiras (Águas Bicarbonatadas Cálcicas) - outubro de 2012

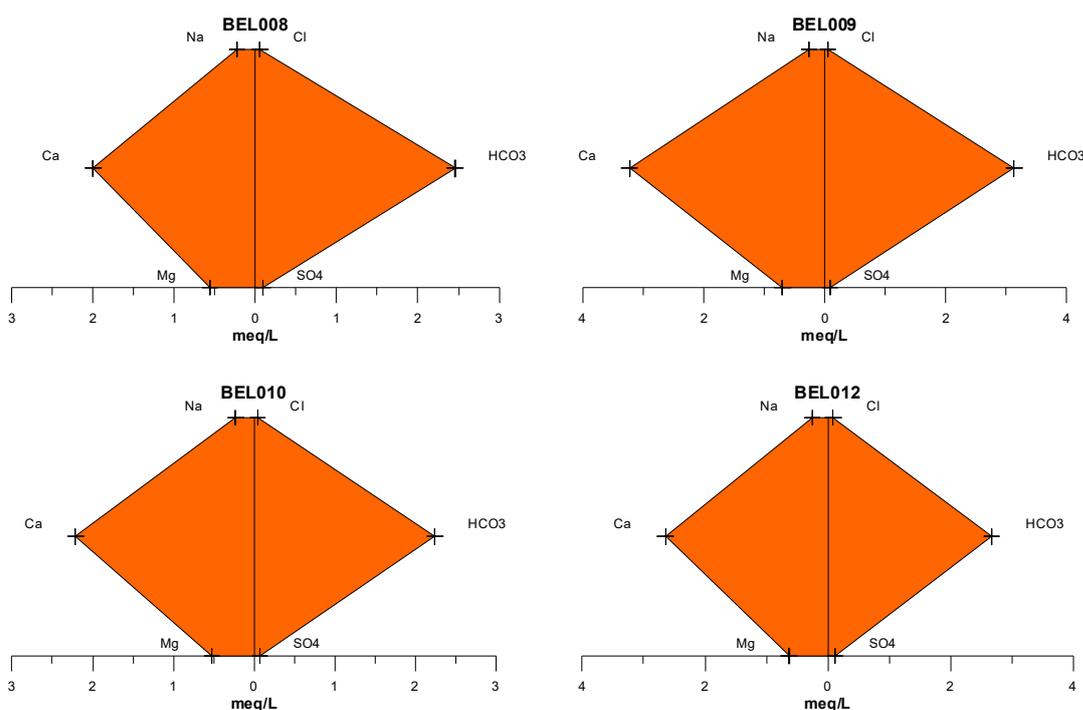


Figura 3.30a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras.

Continuação

Aquífero Barreiras (Águas Bicarbonatadas Cálcicas) - outubro de 2012

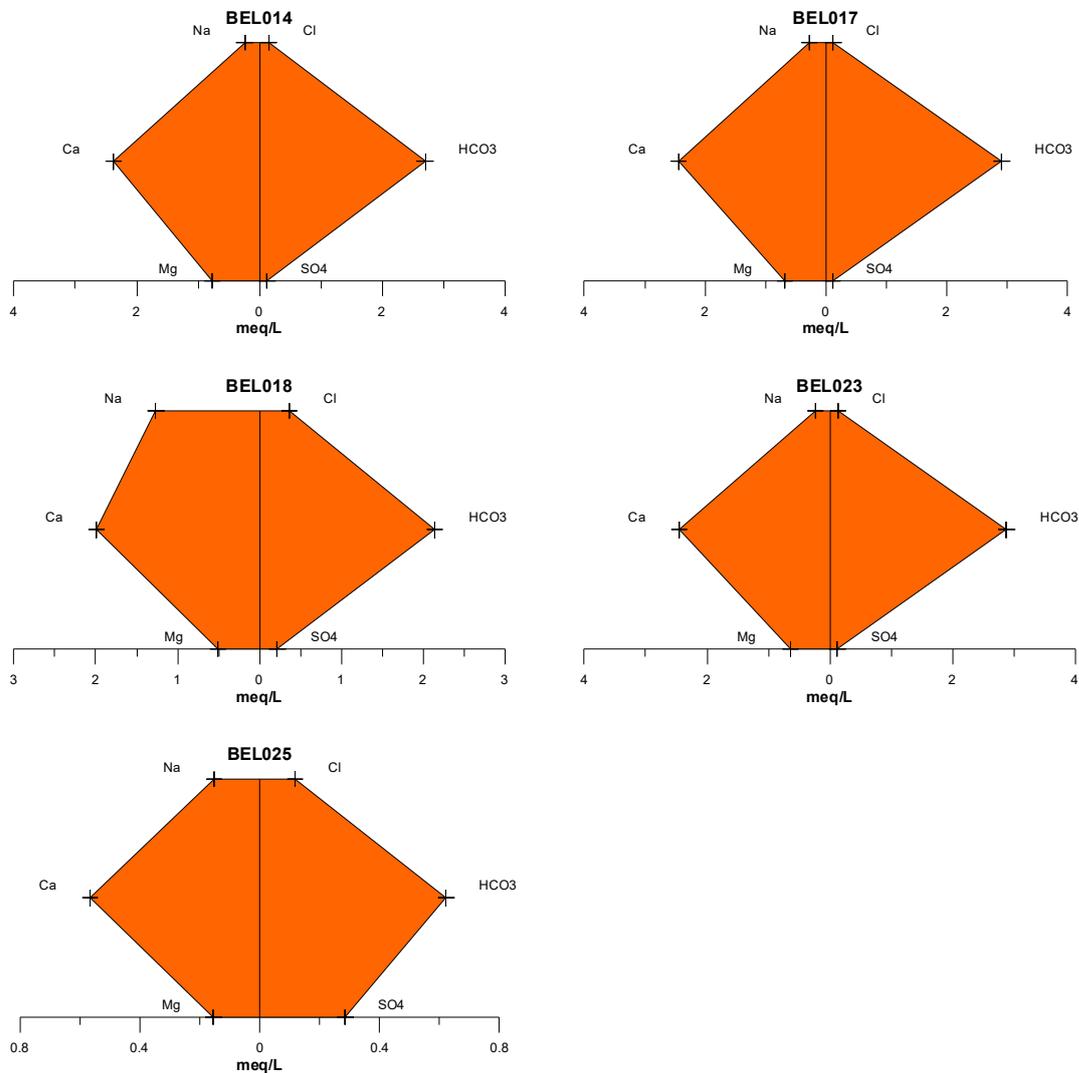


Figura 3.30a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras (Continuação).

Aquífero Barreiras (Águas Cloretadas Sódicas) - outubro de 2012

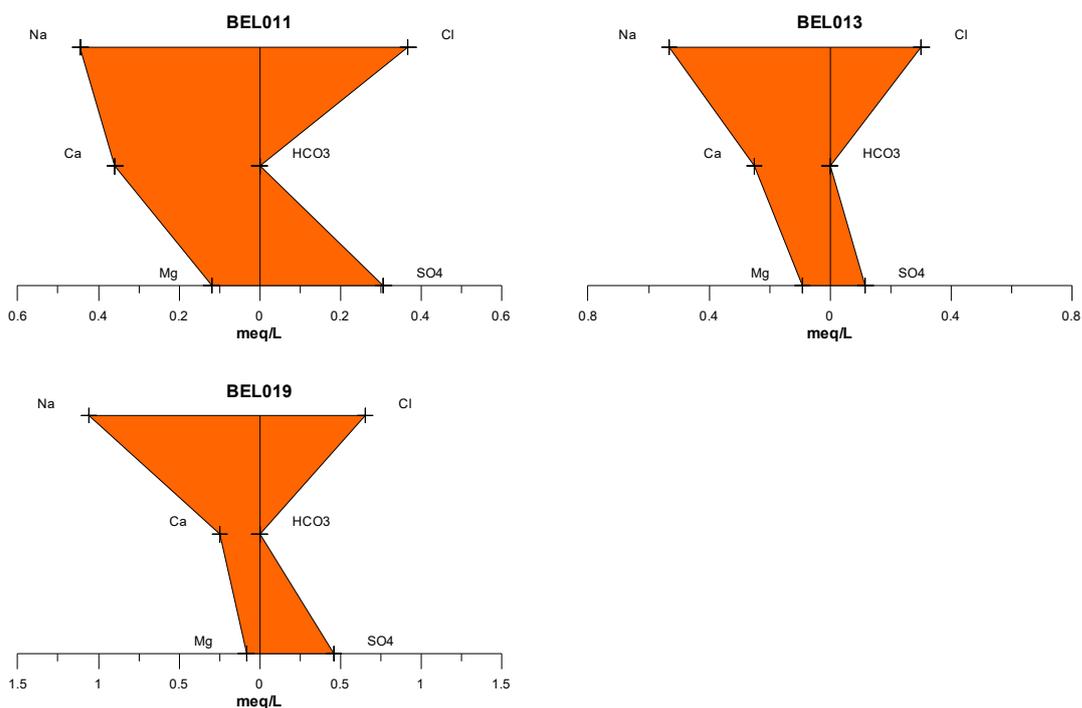


Figura 3.30b – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras.

Aquífero Barreiras (Águas Cloretadas Cálcicas) - outubro de 2012

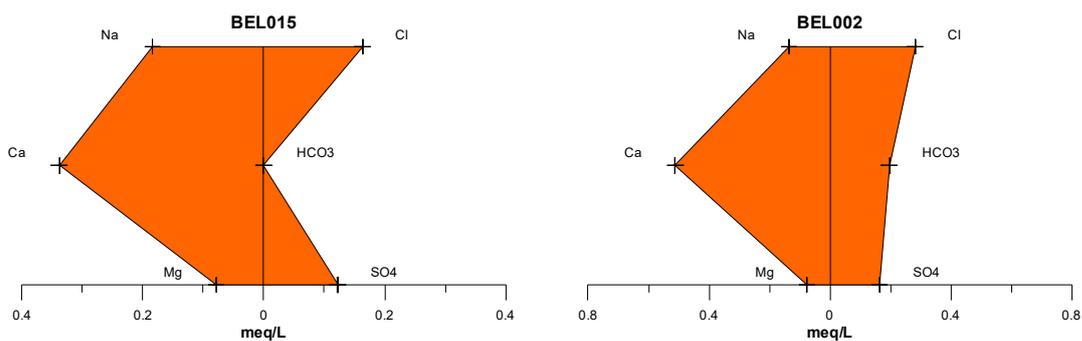


Figura 3.30c – Águas cloretadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras.

Aquífero Barreiras (Água Sulfatada Cálcica) - outubro de 2012

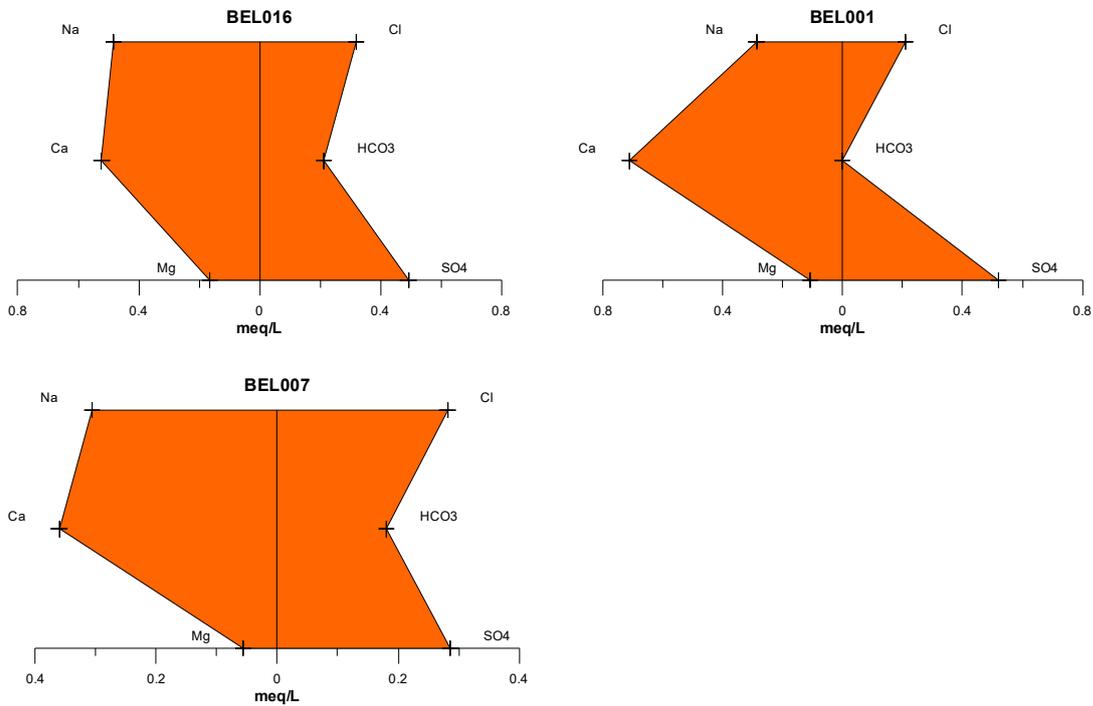


Figura 3.30d – Água sulfatada cálcica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras.

Aquífero Barreiras (Água Bicarbonatada Sódica) - outubro de 2012

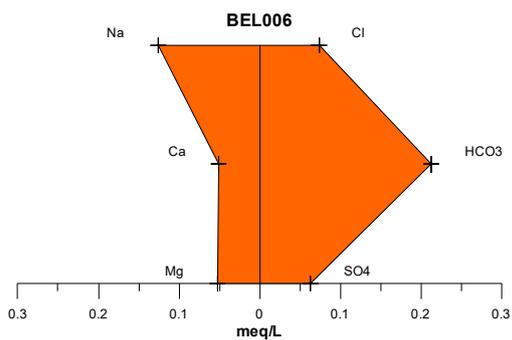


Figura 3.30e – Água bicarbonatada sódica classificada segundo o Diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Barreiras.

5.8.16 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Barreiras Segundo o Uso

5.8.16.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano

A partir da análise da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Barreiras para consumo humano, avaliada por meio do Diagrama de Schoeller-Berkaloff, em abril (figura 5.31) e outubro de 2012 (figura 5.32), é possível verificar que águas são classificadas como de boa potabilidade em ambas as campanhas. Além disso, é possível notar que os parâmetros cloreto e sulfato estão abaixo do VMP recomendado pela Portaria MS 2914/2011, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano.

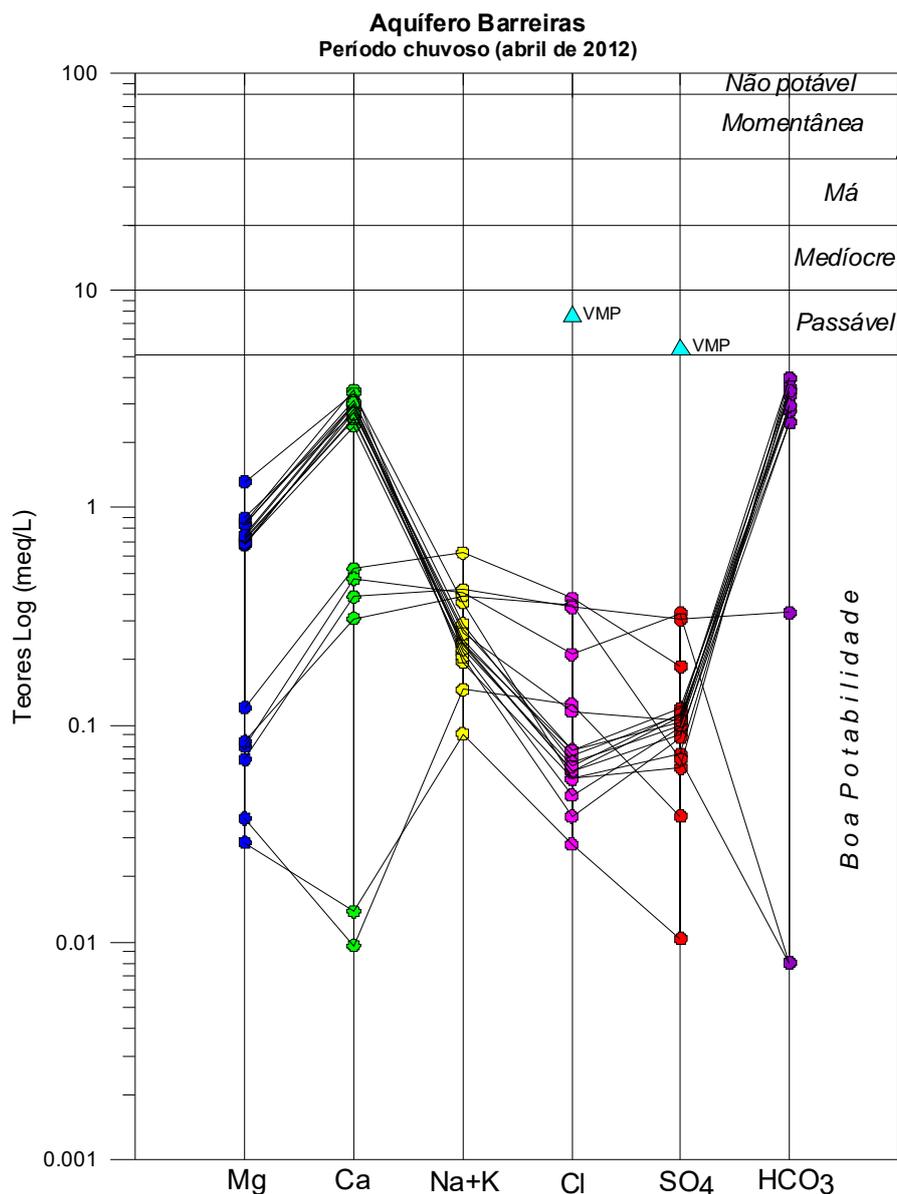


Figura 5.31 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Barreiras no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

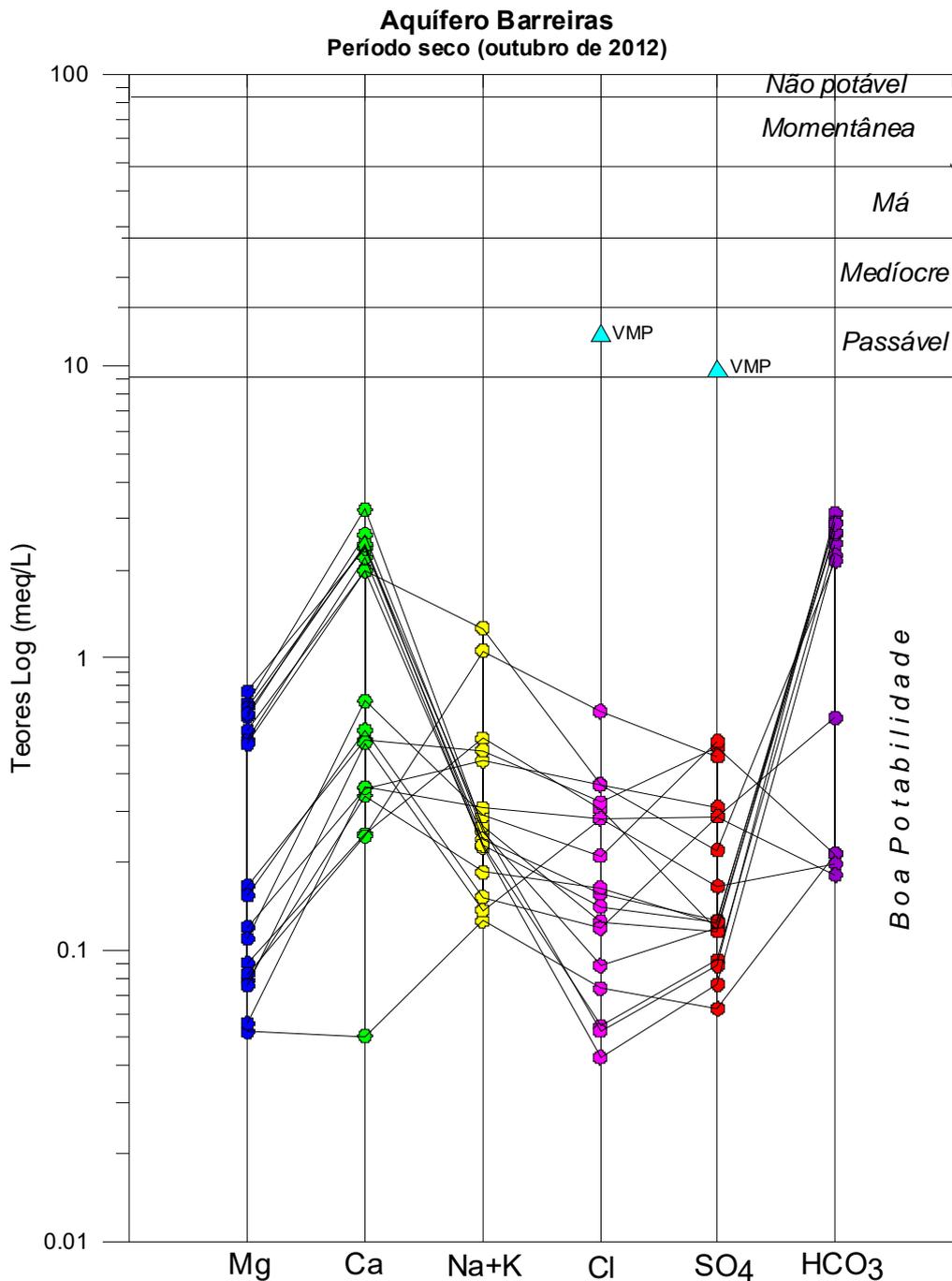


Figura 5.32 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Barreiras no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

5.8.16.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação

Para a avaliação quanto ao uso na irrigação das águas do Aquífero Barreiras foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

Período Chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que as amostras coletadas em abril de 2012 apresentaram risco de sódio baixo em 100% dos casos, ou seja, classificação S₁, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais, como pode ser observado na **figura 5.33**.

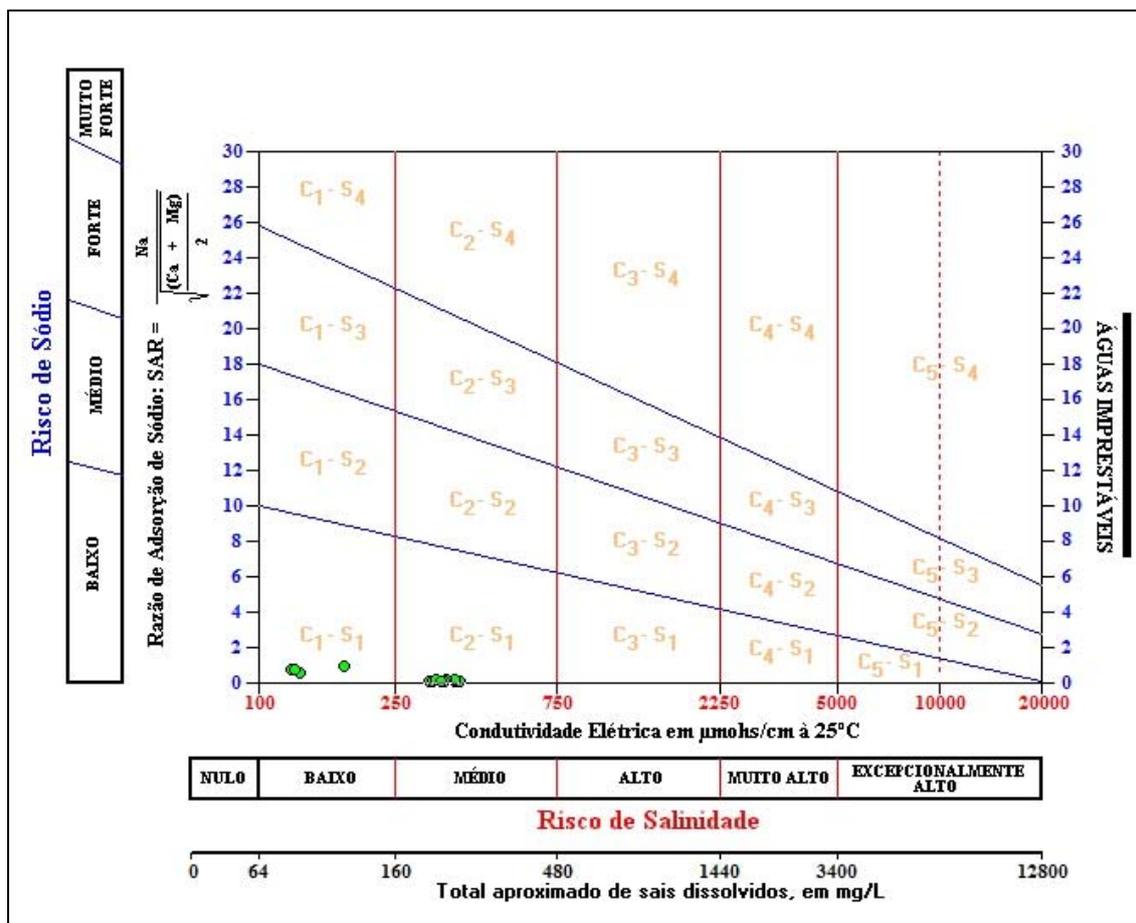


Figura 5.33 – Classificação das águas do Aquífero Barreiras, para fins de irrigação – Abril de 2012.

Quanto à salinidade, as amostras de abril de 2012 apresentaram em 11,1% dos casos classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; enquanto que 22,2% dos casos, classificação C₁, indicativa de que são águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca. Os 66,7% restantes apresentaram classificação C₂, ou seja, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo (**figura 5.33**).

Período de Estiagem

Os resultados das amostras coletadas em outubro de 2012 revelaram que em 100% dos casos as águas apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S₁, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais, como indica a **figura 5.34**.

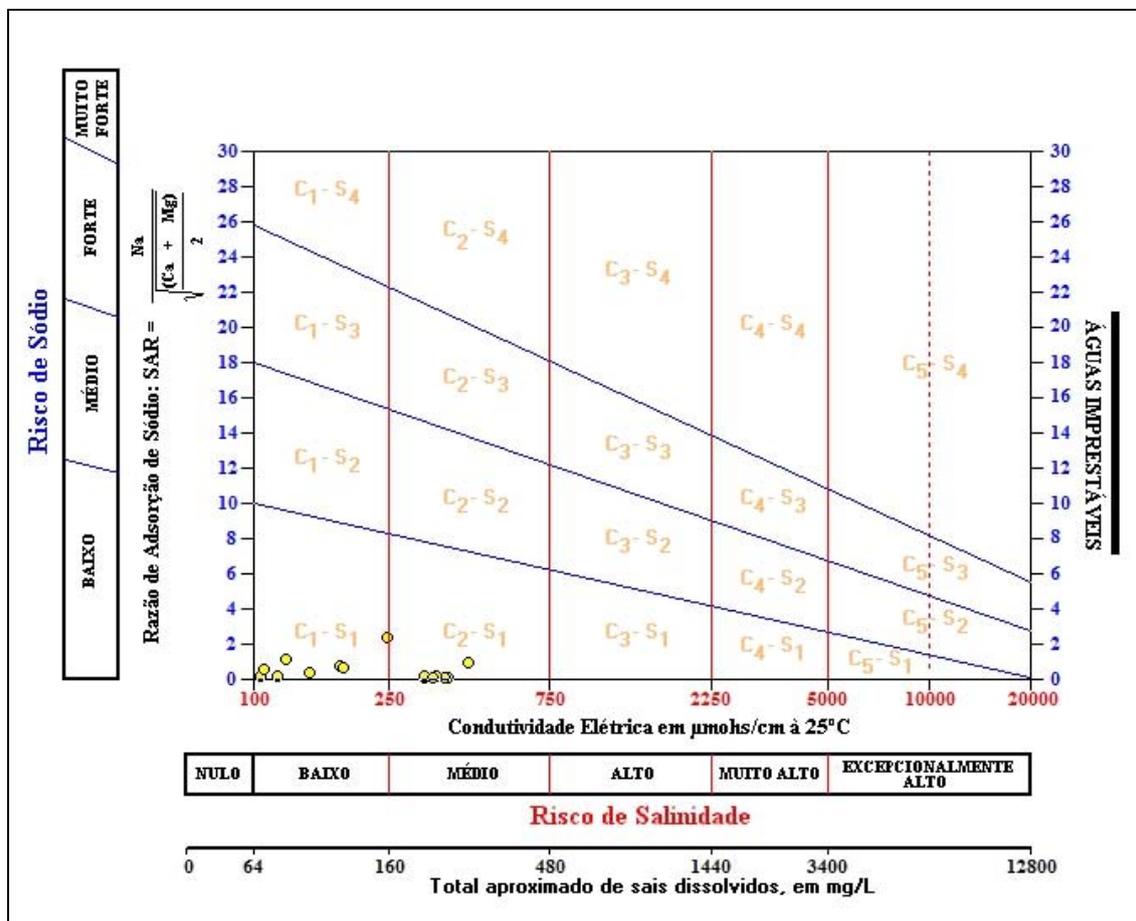


Figura 5.34 – Classificação das águas do Aquífero Barreiras, para fins de irrigação – Outubro de 2012.

Com relação à salinidade, as amostras de outubro de 2012 apresentaram em 11,1% dos casos a classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; em 44,4% dos casos a classificação C₁, ou seja, águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas; e nos 44,4% restantes, a classificação C₂, ou seja, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução (**figura 5.34**).

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram na maioria das amostras águas de salinidade média, o que requer cuidados quanto a sua utilização, pois pode ocasionar a salinização do solo (**tabela 5.55**).

Tabela 5.55 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.

Nome	Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
	Classe USSL	Risco		Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio		Salinidade	Sódio
BEL006	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
BEL008	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL009	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL010	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL011	C2-S1	Médio	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BEL012	C1-S1	Baixo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL013	C2-S1	Médio	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BEL014	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL015	C2-S1	Médio	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
BEL016	C2-S1	Médio	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BEL017	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL018	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL019	C2-S1	Médio	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BEL023	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL025	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BEL001	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BEL002	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BEL007	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo

Legenda:

Poços destacados em vermelho possuem salinidade média, de acordo com a classificação do USSL.

5.8.16.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas nos 18 poços distribuídos no aquífero Barreiras nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 5.56**.

Tabela 5.56 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 288 e 301 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

5.8.17 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Barreiras

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Barreiras indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, e que alguns poucos valores extremos encontrados, inclusive acima do VMP estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011, assim como, os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, se devem em grande parte a fatores antrópicos, com exceção do ferro e manganês.

Em vários parâmetros físico-químicos a modelagem geoestatística apresentou um viés estatístico que não permitiu avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade. Sendo assim, nesses casos foram utilizados os dados de média, mediana e valores máximos para avaliar a influência da sazonalidade, como no caso da cor, sódio, cálcio, magnésio, dureza, amônia e ferro.

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos coletados em duas campanhas de amostragem, realizadas em abril e outubro de 2012, revelou efeito de sazonalidade sobre alguns parâmetros, tais como, turbidez, CE, STD, pH, cálcio, magnésio, potássio, bicarbonato, dureza, ferro e manganês, cujos teores foram mais elevados no período chuvoso; enquanto que os parâmetros Eh, sódio, cloreto, sulfato, nitrato e amônia são mais elevados no período de estiagem.

De acordo com a modelagem geoestatística, alguns parâmetros não apresentaram influência da sazonalidade, pois os resultados das duas campanhas de amostragem apresentaram resultados muito próximos, como no caso da temperatura; e em outros casos, apresentaram em sua maioria teores abaixo do limite de detecção, a exemplo da cor e nitrito.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença tanto de Coliformes totais quanto de *E. Coli*, em ambas as campanhas, o que é decorrente da contaminação feita pela rede de coleta de esgoto sem tratamento, pois a baía de Guajará é um dos principais corpos receptores de esgoto da região metropolitana de Belém, conforme descrito no **item 5.2**. A ocorrência desses parâmetros biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica na população local, que utiliza dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Os altos teores de ferro nas águas do aquífero Barreiras são explicados pelo fato de que a baía de Guajará é suprida por sedimentos arenosos, de coloração avermelhada devido ao capeamento por óxido de ferro, que tem como rocha-fonte o arenito ferruginoso conhecido como "grés-do-Pará", na Formação Barreiras (Gregório & Mendes, 2009).

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que em ambos os períodos as águas subterrâneas do Aquífero Barreiras se caracterizam como ácidas, mas com leve aumento da acidez no período de estiagem.

Os resultados de isótopos ambientais revelaram que não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem a 1 (um) único ponto de amostragem, não sendo, portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**.

Segundo as datações efetuadas com Trício, as águas do aquífero Barreiras têm mistura de água submoderna com recarga anterior a 1952.

A datação radiométrica de carbono-14 revelou a presença de paleoáguas, com tempo de residência superior a 200 anos.

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas do aquífero Barreiras em sua maioria são Bicarbonatadas Cálcicas e de boa potabilidade, segundo indicação dos diagramas de Piper, Stiff e Schoeller-Berkaloff.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação, verifica-se que as águas do aquífero Barreiras possuem risco de sódio baixo e salinidade entre fraquíssima a média, indicando que as águas devem ser usadas com cuidado para a irrigação, pois a maioria das amostras apresentaram salinidade média.

As águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixíssimos.

6 – Hidrogeoquímica do Aquífero Pirabas

6.1 - Introdução

No contexto regional, o aquífero Pirabas está localizado na Província Amazonas, que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003). No contexto local, o aquífero Pirabas está situado na Bacia do Marajó.

A Bacia de Marajó situa-se no Estado do Pará, sendo dominada em superfície pelos terrenos pantanosos das vizinhanças da foz do Rio Amazonas. É uma bacia com formato de meia-lua com 52.000 km² de área, continuando para nordeste sob o Oceano Atlântico. Seu arcabouço estrutural inclui três depocentros: Mexiana, Limoeiro e Cametá (Milani *et al.*, 2000).

No Estado do Pará, a Formação Pirabas é encontrada em subsuperfície em toda a Zona Bragantina e, em superfície, na faixa litorânea da Zona do Salgado (Oliveira *et al.*, 2014).

Segundo Oliveira *et al.* (1998), a Formação Pirabas é formada por dois sistemas aquíferos do tipo multicamadas, denominados de Pirabas (ou Pirabas superior) e Pré-Pirabas (ou Pirabas inferior). O sistema aquífero Pirabas é caracterizado por sedimentos marinhos, fossilíferos, compostos por argilas calcíferas de cor cinza-esverdeada e por leitos de calcário duro, de coloração cinza-esbranquiçada, que se alternam sucessivamente com camadas de arenito calcífero, calcário e folhelho e são encontrados a partir de 100 metros de profundidade. A produtividade desse aquífero é moderada, contudo, pode-se esperar boas vazões, principalmente nos arenitos de maior granulação.

O sistema aquífero Pré-Pirabas constitui-se predominantemente de camadas repetitivas de arenitos de cor cinza-esbranquiçada, granulação fina a conglomerática, com intercalações mais espessas de argilas e siltitos avermelhados. Esse sistema ocorre abaixo de 180 m e tem se mostrado como excelente aquífero, com vazões de até 600 m³/h e água de boa potabilidade, na maioria das vezes com teores de ferro baixíssimos, ou até mesmo com ausência desse elemento (Oliveira *et al.*, 1998).

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Pirabas na cidade de Belém - PA foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 12.8**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Pirabas, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

Laboratório da Bioagri Ambiental:

- 10 (dez) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH *in situ*, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto,

sulfato, Eh, bicarbonato, nitrogênio (amoniaco, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*);

Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:

- 01 (uma) Análise de Isótopo Ambiental Estável - deutério e oxigênio-18.

Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:

- 01 (uma) Análise do Isótopo Ambiental Radioativo - trício.

Laboratório Beta Analytic, da Flórida - USA:

- 02 (duas) Análises do Isótopo Ambiental - carbono 14.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 12.4**.

O aquífero Pirabas só possui 10 (dez) pontos de amostragem. Desse modo, não foi possível realizar distribuição de probabilidade por meio de modelagem geoestatística para definir se há ou não influência da sazonalidade para o parâmetro físico-químico analisado. Sendo assim, foram utilizados os dados de média e mediana para tal fim. Nos casos em que não há comportamento definido pelas médias e medianas, efetuou-se análise comparativa entre os dados das duas campanhas, de modo a observar o comportamento dominante.

É importante ressaltar que nos 10 (dez) pontos de amostragem no aquífero Pirabas, não há como garantir que os poços captam exclusivamente águas de litologias carbonáticas, na medida em que certamente existem conexões hidráulicas induzidas pelos próprios bombeamentos de aquíferos sobrepostos (Barreiras e pós-Barreiras), todos eles com litologias predominantemente arenosas.

6.2 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquífero Pirabas foram submetidos a avaliações pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que no período chuvoso (abril de 2012), 20% (2/10) das amostras coletadas no aquífero Pirabas apresentaram Ep dentro dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1, enquanto que 40% (4/10) das amostras obtiveram Ep inferior a 15%, sendo considerada correta segundo a metodologia nº 2.

Assim, 60% (6/10) das amostras apresentam Ep superiores aos limites definidos, não sendo considerados válidos em ambos os balanços iônicos (**tabela 6.1**).

Tabela 6.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Pirabas – abril de 2012.

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
BEL003	352	8,57	3,38	86,83	43,42
BEL004	324	2,96	2,73	8,39	4,19
BEL005	273	1,97	2,57	26,58	13,29
BEL020	184	1,07	0,65	48,65	24,33
BEL021	110	0,75	2,05	92,97	46,48
BEL022	59	0,64	0,49	27,22	13,61
BEL024	350	3,95	0,22	178,84	89,42
BEL026	211	1,77	1,09	47,62	23,81
BEL029	442	3,73	3,47	7,15	3,58
BEL030	284	1,7	1,49	13,34	6,67

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se que 40% (4/10) das amostras obtiveram resultados dentro dos padrões de Ep considerados como apropriadas na metodologia nº 1 de balanço iônico. Cerca de 50% (5/10) das amostras ficaram abaixo do limite de erro permitido pela metodologia nº 2. Assim, 50% (5/10) das amostras não foram consideradas corretas, haja vista que apresentaram Ep fora dos limites permissíveis estabelecidos nos dois balanços iônicos, como demonstra a **tabela 6.2**.

Tabela 6.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Pirabas – outubro de 2012.

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
BEL003	353	5,24	4,23	21,41	10,7
BEL004	331	3,49	3,67	5,07	2,53
BEL005	242	2,38	2,39	0,8	0,4
BEL020	329	2,74	2,82	2,88	1,44
BEL021	359	2,48	2,03	19,71	9,85
BEL022	138	1,02	0,71	36,14	18,07
BEL024	324	2,97	2,66	11,13	5,57
BEL026	327	3,38	2,83	17,76	8,88
BEL029	314	2,92	2,75	6,22	3,11
BEL030	321	3,58	3,24	9,72	4,86

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de Ep superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (Ep %), sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). As águas do aquífero Pirabas se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que os teores de STD alcançam no máximo 307 mg/L no período chuvoso e 246 mg/L no período de estiagem, quando o VMP desse parâmetro para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, é de 1.000 mg/L.

Convém destacar ainda que as concentrações de STD, assim como dos íons sódio (Na^+), Cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou $\mu g/L$. Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de detecção, indicados, por exemplo, como (<1) foram considerados no cálculo do erro, como 1 $\mu g/L$ (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para mg/L (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados nas amostras do aquífero Pirabas não comprometem os resultados analíticos obtidos, pois segundo Younger (1995), os maiores erros de balanço iônico estão associados a águas pouco mineralizadas (como a água da chuva), ou seja, muito diluídas e, também, a águas muito mineralizadas, cujo erro no balanço iônico pode ser reflexo das determinações de cloreto, pois para altas concentrações de ferro pode haver formação de complexos de ferro total que mascaram o ponto final da titulação. Tal premissa é plausível na área de estudo, haja vista que boa parte das amostras de águas dos aquíferos que compõem a PHA possui altos teores de ferro, inclusive acima do VMP definido como padrão de potabilidade para consumo humano pela Portaria MS 2914/2011.

Vale ressaltar que, os teores de ferro mais elevados no aquífero Pirabas se deve a existência de conexões hidráulicas induzidas pelos próprios bombeamentos de aquíferos sobrepostos, como por exemplo o Barreiras, rico em ferro, devido a presença de arenitos ferruginosos.

6.3 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Pirabas foi estimado conforme metodologia descrita no **item 1.8**.

De acordo com os resultados de ITB calculados verifica-se que 100% (10/10) das amostras nas duas coletas apresentaram valores negativos (**tabela 6.3**). Isto revela maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que sugere o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ (**figuras 6.1 e 6.2**).

Tabela 6.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Pirabas nas duas campanhas.

Poço	ITB - abril de 2012 (meq/L)	ITB - outubro de 2012 (meq/L)
BEL003	-3,24	-5,00
BEL004	-2,06	-0,68
BEL005	-2,45	-4,10
BEL020	-0,45	-0,94
BEL021	-0,24	-5,20
BEL022	-0,09	-0,10
BEL024	-1,38	-2,01
BEL026	-0,27	-5,55
BEL029	-0,66	-2,17
BEL030	-0,33	-1,81

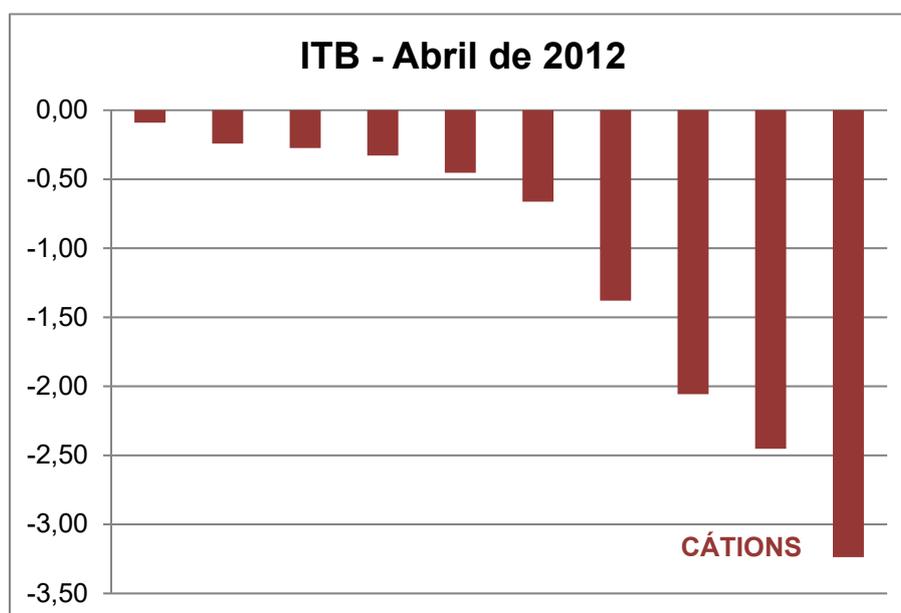


Figura 6.1 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Pirabas, no período chuvoso, com o predomínio de cátions.

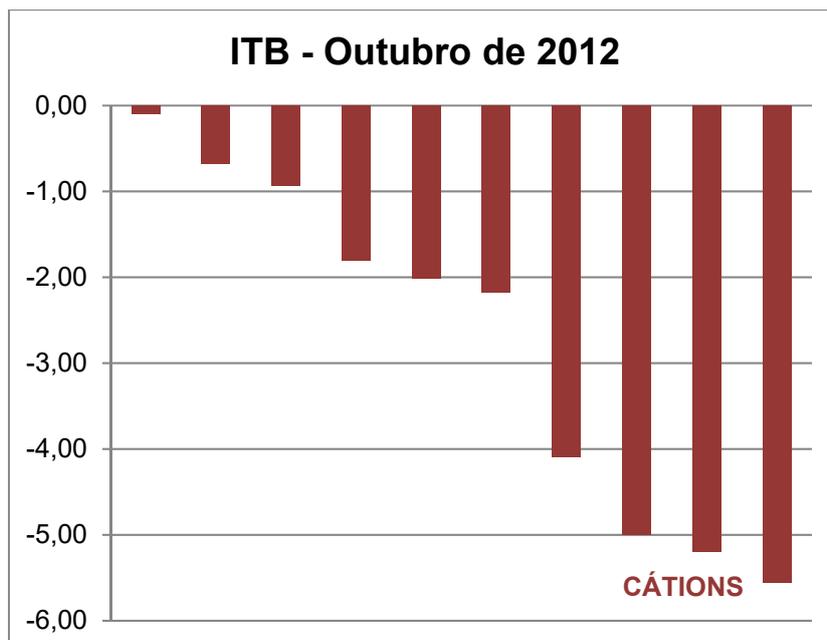


Figura 6.2 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no Aquífero Pirabas, no período de estiagem, com o predomínio de cátions.

Os valores de ITB obtidos nas águas do aquífero Pirabas nas duas campanhas estão coerentes, pois segundo Teixeira (2002), o enriquecimento em alcalinos aumenta a diferença $Cl - (Na + K)$, numerador na equação de Schoeller (1962), o que torna mais negativos os valores de ITB.

Na **tabela 6.4** é apresentada a estatística descritiva dos resultados de ITB calculados, onde se verifica que os valores mínimo e máximo obtidos foram de -3,24 e -0,09; -5,55 e -0,10 para as coletas de abril e outubro de 2012, respectivamente.

Tabela 6.4 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Pirabas nas duas campanhas.

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Média	-1,12	-2,76
Erro padrão	0,35	0,64
Mediana	-0,56	-2,09
Desvio padrão	1,11	2,03
Variância da amostra	1,23	4,12
Curtose	-0,42	-1,69
Assimetria	-0,97	-0,25
Intervalo	3,15	5,45
Mínimo	-3,24	-5,55
Máximo	-0,09	-0,10
Soma	-11,18	-27,57
Contagem	10	10
Nível de confiança (95%)	0,79	1,45

Os resultados de ITB negativos obtidos em ambas as campanhas são justificáveis por conta dos elevados índices pluviométricos da região amazônica, que favorecem a diluição dos compostos químicos em solução na água, o que implica no abrandamento das águas com troca de cálcio e magnésio por sódio, tanto no período chuvoso quanto na estiagem.

6.4 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Pirabas nas duas campanhas de amostragem (**tabela 6.5**), de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A razão rMg^{2+}/rCa^{2+} indica que 20% e 50% dos poços, respectivamente para a primeira e segunda campanha, contém águas de circulação em rocha de composição granítica. Essa razão também sugere que 60% e 20% das águas do aquífero Pirabas na primeira e segunda coleta de amostragem, respectivamente, são continentais.

A razão rNa^+/rCl^- sugere que 100% dos poços na primeira campanha e 90% dos poços na segunda campanha contém águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas.

A razão iônica $rCl^-/rHCO_3^-$ na primeira campanha mostrou que 20% das amostras possuem águas continentais e 20% ausência de íon bicarbonato. A mesma razão iônica na segunda campanha apresentou ausência de íon bicarbonato em 10% das amostras.

Os resultados das razões iônicas sugerem que as águas do aquífero Pirabas circulam em rocha de composição granítica e possuem fluxo através de rochas cristalinas, o que é coerente, pois a região nordeste do Pará, onde se localiza a região metropolitana de Belém, apresenta uma cobertura sedimentar sobrejacendo a um embasamento cristalino, o qual apresenta rochas de variados graus de metamorfismo, como gnaisses, quartzitos, xistos e filitos. A cobertura sedimentar é constituída essencialmente pelas rochas da Formação Pirabas (Cortez *et al.*, 2000). De acordo com Gomes *et al.* (2013), os cátions do aquífero Pirabas apresentam a contribuição de minerais como a calcita ($CaCO_3$) e dolomita ($MgCaCO_3$), e os ânions refletem o ambiente carbonático e o seu produto da dissolução (HCO_3^-).

Tabela 6.5 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Pirabas nas duas campanhas.

Poço	Razões Iônicas - Período chuvoso			Razões Iônicas - Período seco		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
BEL003	0,06	1,59	0,02	0,11	3,43	0,01
BEL004	0,19	2,05	0,05	0,21	0,59	0,02
BEL005	0,41	1,98	0,02	0,31	2,99	0,02
BEL020	0,39	1,39	-	0,36	1,29	0,04
BEL021	0,39	1,12	0,17	0,30	4,16	0,02
BEL022	0,54	1,05	0,94	0,54	0,99	-
BEL024	0,35	1,62	13,54	0,25	2,22	0,03
BEL026	0,30	1,06	0,97	0,29	4,72	0,02
BEL029	0,29	1,43	0,36	0,29	2,28	0,03
BEL030	0,38	1,16	-	0,19	2,05	0,03

Legenda:

Os valores simbolizados com (-) são indefinidos (divisão por zero), pois se referem a ausência de bicarbonato, na razão iônica cloreto/bicarbonato.

6.5 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Pirabas nas duas campanhas de amostragem para verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS apresentada na **tabela 1.6**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Pirabas, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), podem ser observados na **tabela 6.6**.

Na primeira campanha, os resultados de IS foram positivos em 30% (3/10) das amostras e negativos em 70% (7/10) das amostras, indicando que a maioria das águas não possuem características incrustantes. Isto provavelmente ocorre, pois no período chuvoso, devido as inundações periódicas da região, ocorre uma maior influência da “mistura” das águas provenientes dos aquíferos sobrepostos e aflorantes (Barreiras e Pós-Barreiras) ao aquífero Pirabas.

Na segunda campanha, 20% (2/10) das amostras obtiveram resultados de IS negativos, enquanto que 80% (8/10) das amostras obtiveram resultados de IS positivos, o que sugere que a maioria das águas possuem características incrustantes. Isto ocorre, pois no período de estiagem os teores de dureza são mais elevados e ao fato da litologia do aquífero Pirabas ser constituída de calcários ricamente fossilíferos.

Tabela 6.6 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Pirabas nas duas campanhas.

Poço	IS - 1 (Abril de 2012)	IS - 2 (Outubro de 2012)
BEL003	2,12	0,566
BEL004	1,19	0,695
BEL005	1,26	0,126
BEL020	-3,49	-0,569
BEL021	-2,66	0,002
BEL022	-2,28	-3,478
BEL024	-0,99	0,365
BEL026	-2,13	0,485
BEL029	-0,37	0,249
BEL030	-4,40	0,567

Os resultados mostram que no período chuvoso o IS variou de -4,40, a 2,12 e no período seco de -3,478 a 0,695. Tais resultados indicam que as águas são subsaturadas em relação à calcita e com tendência a dissolver $\text{CaCO}_{3(s)}$, e nesse sentido possuem características incrustantes no período chuvoso e de estiagem.

6.6 - Correlação entre Variáveis Hidrogeoquímicas

Alguns parâmetros físico-químicos analisados nas duas campanhas de amostragem foram submetidos a avaliações de correlação conforme metodologia descrita no **item 1.11**, a qual aplica o Teste t aos níveis de 5 e 1% de significância e fornece o coeficiente de correlação (ρ).

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos, o panorama das correlações no período chuvoso (abril de 2012), conforme **tabela 6.7**, é o seguinte:

- A grande maioria das correlações (110/136), ou seja, 81% são Não Significativas, dos tipos muito fracas (38), fracas (24) e moderadas (48);
- As correlações Significativas correspondem apenas 12% (16/136), sendo 15 moderadas e 1 forte;
- Existem 7% (10/136) de correlações Muito Significativas, sendo 5 fortes e 5 muito fortes.

Tabela 6.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Pirabas – abril de 2012.

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Alcalinidade	NO ₃	-0,4552	ns
Alcalinidade	CO ₃	0	ns
Alcalinidade	NH ₃	0,0342	ns
Alcalinidade	NO ₂	0,1908	ns
Alcalinidade	Fe	0,5053	ns
Alcalinidade	HCO ₃	0,9956	**
Ca	NO ₃	-0,4776	ns
Ca	Cl	-0,4404	ns
Ca	EH	-0,6386	*
Ca	SO ₄	-0,1542	ns
Ca	NH ₃	-0,0671	ns
Ca	CO ₃	0	ns
Ca	STD	0,6491	*
Ca	pH	0,6653	*
Ca	NO ₂	0,014	ns
Ca	Fe	0,0431	ns
Ca	Mg	0,4744	ns
Ca	CE	0,5449	ns
Ca	Alcalinidade	0,6154	ns
Ca	HCO ₃	0,624	ns
CE	EH	-0,4873	ns
CE	NO ₃	-0,077	ns
CE	CO ₃	0	ns
CE	Fe	0,22	ns
CE	Alcalinidade	0,4236	ns
CE	HCO ₃	0,4318	ns
CE	pH	0,4558	ns
CE	STD	0,9885	**
CE	NO ₂	0,5446	ns
CE	NH ₃	0,5559	ns
Cl	Fe	-0,4399	ns
Cl	Alcalinidade	-0,4331	ns
Cl	HCO ₃	-0,4093	ns
Cl	NO ₃	0,8459	**
Cl	pH	-0,6991	*
Cl	EH	0,6331	*
Cl	SO ₄	0,6475	*

Tabela 6.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Pirabas – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Cl	CO ₃	0	ns
Cl	STD	0,0264	ns
Cl	CE	0,1143	ns
Cl	NH ₃	0,6954	*
Cl	NO ₂	0,4682	ns
CO ₃	HCO ₃	0	ns
EH	Alcalinidade	-0,5721	ns
EH	HCO ₃	-0,5677	ns
EH	Fe	-0,4918	ns
EH	NO ₂	-0,1053	ns
EH	NO ₃	0,6544	*
EH	CO ₃	0	ns
EH	NH ₃	0,1338	ns
Fe	CO ₃	0	ns
Fe	HCO ₃	0,4758	ns
K	EH	-0,2236	ns
K	CO ₃	0	ns
K	NH ₃	0,6552	*
K	CE	0,8884	**
K	NO ₃	0,0397	ns
K	STD	0,8899	**
K	Fe	0,1173	ns
K	pH	0,2273	ns
K	Cl	0,3275	ns
K	Mg	0,3717	ns
K	Alcalinidade	0,4571	ns
K	HCO ₃	0,465	ns
K	Ca	0,5014	ns
K	NO ₂	0,5193	ns
K	SO ₄	0,572	ns
Mg	NO ₃	-0,5224	ns
Mg	Cl	-0,4131	ns
Mg	EH	-0,6414	*
Mg	CO ₃	0	ns
Mg	SO ₄	0,0121	ns
Mg	NH ₃	0,1155	ns
Mg	Alcalinidade	0,223	ns

Tabela 6.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Pirabas – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Mg	HCO ₃	0,2301	ns
Mg	NO ₂	0,2428	ns
Mg	Fe	0,316	ns
Mg	CE	0,6967	*
Mg	STD	0,7067	*
Mg	pH	0,6007	ns
Na	pH	-0,5881	ns
Na	NO ₃	0,8317	**
Na	Ca	-0,3956	ns
Na	Fe	-0,3878	ns
Na	Alcalinidade	-0,3476	ns
Na	Mg	-0,333	ns
Na	HCO ₃	-0,3251	ns
Na	CO ₃	0	ns
Na	STD	0,1278	ns
Na	CE	0,2202	ns
Na	K	0,3847	ns
Na	Cl	0,9829	**
Na	NH ₃	0,7408	*
Na	EH	0,5153	ns
Na	NO ₂	0,5641	ns
Na	SO ₄	0,6118	ns
NH ₃	Fe	-0,242	ns
NH ₃	CO ₃	0	ns
NH ₃	HCO ₃	0,0844	ns
NO ₂	Fe	-0,177	ns
NO ₂	CO ₃	0	ns
NO ₂	NH ₃	0,9146	**
NO ₂	HCO ₃	0,2458	ns
NO ₂	NO ₃	0,3086	ns
NO ₃	Fe	-0,5001	ns
NO ₃	HCO ₃	-0,4289	ns
NO ₃	CO ₃	0	ns
NO ₃	NH ₃	0,4627	ns
pH	EH	-0,9724	**
pH	NO ₃	-0,72	*

Tabela 6.7 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Pirabas – abril de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
pH	NH ₃	-0,2406	ns
pH	NO ₂	-0,0085	ns
pH	CO ₃	0	ns
pH	HCO ₃	0,6692	*
pH	Alcalinidade	0,6825	*
pH	Fe	0,6125	ns
SO ₄	pH	-0,4554	ns
SO ₄	NH ₃	0,7979	**
SO ₄	Fe	-0,2636	ns
SO ₄	Alcalinidade	-0,1663	ns
SO ₄	HCO ₃	-0,1335	ns
SO ₄	CO ₃	0	ns
SO ₄	STD	0,3404	ns
SO ₄	EH	0,3638	ns
SO ₄	CE	0,4096	ns
SO ₄	NO ₃	0,5186	ns
SO ₄	NO ₂	0,5389	ns
STD	EH	-0,5536	ns
STD	NO ₃	-0,1723	ns
STD	CO ₃	0	ns
STD	Fe	0,2486	ns
STD	NH ₃	0,5014	ns
STD	NO ₂	0,5051	ns
STD	Alcalinidade	0,5062	ns
STD	HCO ₃	0,5172	ns
STD	pH	0,5354	ns

Legenda:

** = significativo ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$)

* = significativo ao nível de 5% de significância ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns = não significativo ($p \geq 0,05$)

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se, como demonstra a **tabela 6.8**, que:

- Cerca de 46% das correlações (62/136) são Não Significativas e se enquadram como muito fracas (44), fracas (11) e moderadas (7);
- As correlações Significativas correspondem a 16% (22/136), sendo 12 moderadas e 10 fortes;

- As correlações Muito Significativas satisfazem 38% (52/136), das quais 33 são fortes e 19 muito fortes.

Tabela 6.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Pirabas – outubro de 2012.

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Alcalinidade	NH ₃	-0,0304	ns
Alcalinidade	NO ₂	-0,0159	ns
Alcalinidade	Fe	-0,812	**
Alcalinidade	NO ₃	-0,7984	**
Alcalinidade	CO ₃	0	ns
Alcalinidade	HCO ₃	0,9965	**
Ca	SO ₄	-0,5689	ns
Ca	Eh	-0,5272	ns
Ca	Cl	-0,6654	*
Ca	NH ₃	-0,0292	ns
Ca	Fe	-0,6563	*
Ca	NO ₂	-0,0153	ns
Ca	NO ₃	-0,6401	*
Ca	CO ₃	0	ns
Ca	CE	0,7125	*
Ca	STD	0,7591	*
Ca	HCO ₃	0,935	**
Ca	Alcalinidade	0,9451	**
Ca	Mg	0,4948	ns
Ca	pH	0,5746	ns
CE	Fe	-0,9262	**
CE	NO ₃	-0,8836	**
CE	Eh	-0,8197	**
CE	pH	0,6931	*
CE	CO ₃	0	ns
CE	HCO ₃	0,7999	**
CE	Alcalinidade	0,8121	**
CE	NH ₃	0,0919	ns
CE	NO ₂	0,1071	ns
CE	STD	0,9879	**
Cl	STD	-0,8922	**
Cl	pH	-0,8881	**
Cl	NO ₂	-0,0694	ns
Cl	NH ₃	-0,0469	ns
Cl	CE	-0,8655	**

Tabela 6.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Pirabas – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Cl	HCO ₃	-0,8212	**
Cl	Alcalinidade	-0,7938	**
Cl	CO ₃	0	ns
Cl	SO ₄	0,8551	**
Cl	Eh	0,901	**
Cl	Fe	0,9704	**
Cl	NO ₃	0,983	**
CO ₃	HCO ₃	0	ns
Eh	HCO ₃	-0,7276	*
Eh	Alcalinidade	-0,7081	*
Eh	NO ₂	-0,0823	ns
Eh	NH ₃	-0,0677	ns
Eh	CO ₃	0	ns
Eh	Fe	0,9287	**
Eh	NO ₃	0,9296	**
Fe	HCO ₃	-0,8262	**
Fe	CO ₃	0	ns
K	Cl	-0,4181	ns
K	Eh	-0,3842	ns
K	NO ₃	-0,36	ns
K	NH ₃	-0,2964	ns
K	Fe	-0,2862	ns
K	NO ₂	-0,2805	ns
K	CO ₃	0	ns
K	SO ₄	-0,7817	**
K	Alcalinidade	0,1624	ns
K	pH	0,1821	ns
K	Ca	0,2028	ns
K	HCO ₃	0,2078	ns
K	CE	0,2296	ns
K	STD	0,2822	ns
K	Mg	0,2993	ns
Mg	SO ₄	-0,6237	ns
Mg	Eh	-0,9688	**
Mg	Fe	-0,9137	**
Mg	NO ₃	-0,9077	**
Mg	Cl	-0,8585	**

Tabela 6.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Pirabas – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
Mg	CO ₃	0	ns
Mg	pH	0,6807	*
Mg	Alcalinidade	0,7094	*
Mg	CE	0,8173	**
Mg	STD	0,809	**
Mg	HCO ₃	0,7206	*
Mg	NH ₃	0,024	ns
Mg	NO ₂	0,0382	ns
Na	HCO ₃	-0,8734	**
Na	Ca	-0,6813	*
Na	K	-0,2286	ns
Na	NO ₂	-0,0209	ns
Na	Alcalinidade	-0,8478	**
Na	NH ₃	-0,0021	ns
Na	CO ₃	0	ns
Na	CE	-0,795	**
Na	pH	-0,7837	**
Na	STD	-0,7831	**
Na	Eh	0,7764	**
Na	Mg	-0,7822	**
Na	Fe	0,9	**
Na	Cl	0,9124	**
Na	NO ₃	0,9168	**
Na	SO ₄	0,7598	*
NH ₃	Fe	-0,1154	ns
NH ₃	HCO ₃	-0,0354	ns
NH ₃	CO ₃	0	ns
NO ₂	Fe	-0,1324	ns
NO ₂	NO ₃	-0,103	ns
NO ₂	HCO ₃	-0,0201	ns
NO ₂	CO ₃	0	ns
NO ₂	NH ₃	0,9966	**
NO ₃	NH ₃	-0,0874	ns
NO ₃	HCO ₃	-0,8222	**
NO ₃	CO ₃	0	ns
NO ₃	Fe	0,9921	**
pH	NO ₃	-0,8266	**

Tabela 6.8 – Resultado das correlações entre parâmetros químicos das águas do aquífero Pirabas – outubro de 2012 (Continuação).

Correlação - Abril de 2012			
Variável 1	Variável 2	Coefficiente de Correlação (ρ)	Significância
pH	Fe	-0,8241	**
pH	Alcalinidade	0,672	*
pH	HCO ₃	0,6987	*
pH	Eh	-0,7672	**
pH	CO ₃	0	ns
pH	NH ₃	0,1609	ns
pH	NO ₂	0,1907	ns
SO ₄	Alcalinidade	-0,6168	ns
SO ₄	STD	-0,6887	*
SO ₄	HCO ₃	-0,6637	*
SO ₄	CE	-0,6508	*
SO ₄	pH	-0,6492	*
SO ₄	CO ₃	0	ns
SO ₄	Eh	0,7003	*
SO ₄	NO ₃	0,8085	**
SO ₄	Fe	0,7515	*
SO ₄	NO ₂	0,1347	ns
SO ₄	NH ₃	0,156	ns
STD	Fe	-0,9317	**
STD	NO ₃	-0,8943	**
STD	Eh	-0,8393	**
STD	CO ₃	0	ns
STD	HCO ₃	0,8229	**
STD	Alcalinidade	0,8309	**
STD	pH	0,7526	*
STD	NH ₃	0,1142	ns
STD	NO ₂	0,1311	ns

Legenda:

** = significativo ao nível de 1% de significância ($p < 0,01$)

* = significativo ao nível de 5% de significância ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns = não significativo ($p \geq 0,05$)

Conclusão sobre as correlações nas duas campanhas

Das 136 correlações apresentadas de parâmetros químicos em cada uma das campanhas, conforme **tabelas 6.7 e 6.8**, verifica-se que em termos médios 63,5% são Não Significativas. As correlações Significativas representam apenas 14% do total, enquanto que as correlações Muito Significativas, ou seja, resultantes de Teste t ao nível de 1%, representam em média 22,5%.

As correlações existentes entre Na (sódio), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica) e STD (sólidos totais

dissolvidos) em um aquífero de composição carbonática, como é o caso do Pirabas, pouco indicam sobre a composição química revelada pelas análises. Trata-se de águas com baixa concentração iônica, que se apresentam extremamente diluídas como que influenciadas pela elevada precipitação associada à renovação das águas na planície amazônica, quando o aquífero ocorre apenas em sub-superfície.

Os parâmetros Na (sódio), K (potássio), Cl (cloreto), CE (condutividade elétrica), STD (sólidos totais dissolvidos), NO₃ (nitrato), NH₃ (amônia) e SO₄ (sulfato) apresentaram correlação entre si, o que sugere poluição nas águas subterrâneas oriunda de atividade antrópica, principalmente lançamento de esgoto *in natura*, haja vista que tais constituintes representam uma medida indireta de concentração de poluentes. Além disso, as correlações significativas e altamente significativas envolvendo as variáveis nitrato e amônia se devem principalmente ao contato das águas subterrâneas com as fossas negras, vazamento nas redes coletoras de esgoto e influência de rios próximos à área de captação dos poços. Tal justificativa é plausível na área de estudo, haja vista a ausência de esgotamento sanitário e a falta de proteção sanitária na instalação dos poços.

Esse panorama é bastante sugestivo de que as águas do aquífero Pirabas sofrem, por filtração vertical descendente, mistura com águas oriundas dos aquíferos sobrepostos. Considerando que o sistema aquífero é do tipo livre, essa mistura, induzida pelos bombeamentos, não somente pode ocorrer fora dos poços quanto dentro dos mesmos, através dos espaços anelares, sobretudo no caso de poços mal construídos.

Ao se observar as **tabelas 6.7** e **6.8** pode-se concluir que existe influência sazonal, uma vez que as correlações são extremamente diferentes entre os dois períodos. Olhando parece que as águas são misturadas; no período chuvoso as correlações são muito pequenas e parecem sofrer influência maior das águas misturadas do Barreiras/Pós-Barreiras e do Pirabas. No período seco, as correlações significativas são em número bem maior e muitas vezes negativas, parecendo mostrar uma maior influência da origem carbonática do Pirabas.

Na **tabela 6.7** (período chuvoso), as correlações são pequenas, talvez em resposta à grande complexidade geoquímica resultante da mistura das águas dos aquíferos Pirabas, Barreiras, Pós-Barreiras e da própria influência das águas superficiais, que é maior neste período. As únicas correlações importantes foram CE x STD, K x CE, K x STD, Mg x CE, Mg x STD, que são correlações básicas entre cátions, CE e STD. Também houve correlações de origem antrópica, entre sódio, nitrato, amônia, nitrito e sulfato.

De acordo com os dados da **tabela 6.8** (período seco), as correlações são muito maiores em números, parecendo corresponder a uma água que sofre menor influência das águas superficiais. O comportamento hidrogeoquímico aparentemente sofre uma maior influência da composição carbonática do Pirabas. As correlações positivas comuns para águas carbonatadas, como as relações entre cátions, alcalinidade, STD, CE, pH, ocorrem neste período. Existem ainda várias correlações significativas, porém negativas, notadamente entre os elementos que representam as águas carbonatadas do aquífero

Pirabas (cátions, alcalinidade, STD, CE e pH) e entre os parâmetros indicativos da influência antrópica (nitrato e cloreto).

Em suma, tudo indica que existem dois comportamentos hidrogeoquímicos distintos no aquífero Pirabas de acordo com a sazonalidade:

- No período chuvoso parece dominar um comportamento com maior influência antrópica, quando ocorre uma maior “mistura” das águas do Pirabas com águas provenientes dos aquíferos sobrepostos e aflorantes (Barreiras e Pós-Barreiras). Neste período a maior contribuição (ou contaminação) é causada por parâmetros como nitrato, cloreto, turbidez, sódio e amônia, todos oriundos de águas dos mencionados aquíferos sobrepostos e aflorantes;
- No período seco aparentemente prevalece um ambiente com menor contribuição do fluxo descendente, ou seja, há um menor aporte de águas dos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras, evidenciado pelo predomínio do comportamento das águas carbonáticas do aquífero Pirabas. Assim, neste período as águas analisadas apresentam maiores teores de CE, STD, Cálcio, pH, magnésio, bicarbonato e dureza.

6.7 – Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Pirabas

6.7.1 – Cor

Os resultados obtidos no aquífero Pirabas no período chuvoso mostraram em 100% (10/10) das amostras coletadas, valores de cor < 5,0, ou seja, inferiores ao LD (limite de detecção); enquanto que no período de estiagem, 90% (9/10) das amostras apresentaram resultados inferiores a 5.

A estatística descritiva da cor realizada seguindo a metodologia definida no **item 1.6**, apresentada na **tabela 6.9**, no período seco (outubro de 2012) variou de 4,9 a 6 uH, com média de 5,01 uH e mediana de 4,9 uH.

Em ambas as campanhas de amostragem, os teores de cor não ultrapassam o VMP da Portaria MS 2914/2011 descrito no **item 2.1**.

Tabela 6.9 – Estatística descritiva da Cor do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Cor-1	10	4,90	-	-	4,90	4,9	4,9	9,36E-16	2,96E-16	1,19
Cor-2	10	5,01	4,76	5,26	4,90	4,9	6,0	0,35	0,11	3,16

Com base nos dados de média e valores máximos observa-se que os valores de cor no período seco são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Contudo, entende-se que tal resultado não condiz com a realidade, pois quase todas as amostras, em ambas as campanhas, apresentaram valores abaixo do limite de detecção. Portanto, admite-se que o parâmetro cor no aquífero Pirabas não sofre influência da sazonalidade, haja vista que isso é o comum na maioria das águas subterrâneas.

6.7.2 – Turbidez

As amostras de água do aquífero Pirabas apresentaram respectivamente, na primeira e segunda campanha de amostragem, 40% (4/10) e 50% (5/10) valores de turbidez abaixo do LD (limite de detecção) de 0,1 uT.

A estatística descritiva apresentada na **tabela 6.10** mostra que os valores de turbidez no período chuvoso variaram de 0,09 a 6,2 uT, com média de 1,58 uT e mediana de 0,57 uT; enquanto que no período seco, os valores se distribuíram entre 0,09 a 12 uT, com média igual a 1,62 uT e mediana igual a 0,13 uT.

Tabela 6.10 – Estatística descritiva da Turbidez do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

Tu	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Tu-1	10	1,58	-0,04	3,19	0,57	0,09	6,2	2,26	0,71	1,58
Tu-2	10	1,62	-1,07	4,30	0,13	0,09	12,0	3,75	1,19	2,89

Cerca de 20% (2/10) dos poços na primeira campanha apresentaram valor de turbidez acima do VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.2**), enquanto que na segunda campanha, apenas 10% (1/10) dos poços ultrapassaram o VMP.

Analisando os valores de turbidez nas duas campanhas, notou-se que eles são mais elevados na primeira campanha (período chuvoso), quando prevalece o processo de mistura com águas das partes superiores dos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras por filtração vertical induzida dos bombeamentos e pelo fato de que no período chuvoso as águas são mais suscetíveis às ações antrópicas.

6.7.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) das águas do aquífero Pirabas de acordo com a estatística descritiva (**tabela 6.11**) variou no ano de 2012 de 59 a 442 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso, com média de 258,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de 278,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No período seco, a variação entre o mínimo e o máximo foi de 138 a 359 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média de 303,80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de 325,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabela 6.11 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do Aquífero Pirabas no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

CE	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CE-1	10	258,90	174,39	343,41	278,50	59,0	442,0	118,13	37,36	-0,322
CE-2	10	303,80	256,41	351,19	325,50	138,0	359,0	66,25	20,95	-2,123

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; e água poluída, quando a CE é $> 10.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Nesse caso, as águas do aquífero Pirabas, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potáveis.

Com base nos dados de média e mediana obtidos nas duas campanhas de amostragem é possível observar que os valores de CE são mais elevados no período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade.

Segundo Custodio & Llamas (1983), a condutividade elétrica da água constitui um parâmetro físico que corresponde à quantidade de íons dissolvidos em seu meio e varia com a temperatura, mobilidade e valência dos íons presentes. Este parâmetro está intrinsecamente correlacionado à geologia de cada localidade, ou seja, o arcabouço de rochas, minerais e sedimentos que constituem uma determinada região, os quais influenciarão diretamente os íons que vão compor as águas superficiais e subterrâneas.

De acordo com Cortez *et al.* (2000), a formação Pirabas é composta por calcários muito fossilíferos e margas, intercalados com folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos. Os elevados valores de CE na segunda campanha de amostragem provavelmente se devem a presença de maiores teores de dureza no período de estiagem, pois nessa época existe menor fluxo descendente de águas do aquífero Barreiras, ou seja, ocorre uma mistura de águas de aquíferos sobrepostos menos intensa, o que faz com que a influência da litologia carbonática do aquífero Pirabas seja maior nesse período.

6.7.4 – Temperatura

A estatística descritiva da temperatura das águas subterrâneas do aquífero Pirabas (**tabela 6.12**) indica que no período chuvoso a temperatura das águas coletadas no aquífero variou de 27,63°C a 41,73°C, apresentando uma amplitude térmica de 14,1°C. No período de estiagem, as temperaturas variaram de 28°C a 31,1°C, com uma amplitude térmica de 3,1°C. No período chuvoso, a média foi de 30,69°C e a mediana foi igual a 29,72°C, enquanto que no período seco, a média atingiu 29,82°C e a mediana 29,95°C, caracterizando uma distribuição normal.

Tabela 6.12 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do Aquífero Pirabas no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

T (°C)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
T-1	10	30,69	27,82	33,56	29,72	27,63	41,73	2,78	1,27	4,01
T-2	10	29,82	29,02	30,62	29,95	28,0	31,1	1,12	0,36	-0,35

Analisando os dados de temperatura das duas campanhas verificou-se que os valores são muito próximos, e que não há influência da sazonalidade.

A única exceção foi à medição do poço BEL004 na primeira campanha, que apresentou o valor máximo de temperatura (41,73°C), o que possivelmente decorre da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas. Embora, o valor máximo registrado seja relativamente alto de 41,73°C, ele resulta de valores medidos efetivamente em campo.

6.7.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

De acordo com Suassuna (2007), na maioria das águas naturais, os sólidos totais dissolvidos (STD) se relacionam com a condutividade elétrica (CE) através de uma equação linear com coeficiente angular situado na faixa de

0,55 a 0,75 (**item 2.5**). No caso do aquífero Pirabas, os dados desses parâmetros são apresentados na **tabela 6.13**.

Tabela 6.13 – Valores de condutividade elétrica CE ($\mu\text{S/cm}$) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L) no aquífero Pirabas nas duas campanhas de amostragem.

Poço	Abril de 2012		Outubro de 2012	
	CE ($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)	CE ($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)
BEL003	352	281	353	246
BEL004	324	224	331	217
BEL005	273	203	242	171
BEL020	184	117	329	211
BEL021	110	77	359	239
BEL022	59	49	138	92
BEL024	350	244	324	223
BEL026	211	141	327	231
BEL029	442	307	314	210
BEL030	284	194	321	222

Na correlação linear estabelecida com os dados da **tabela 6.13**, os coeficientes angulares encontrados são, respectivamente, iguais a 0,72 no período chuvoso e 0,67 no período seco, como ilustrado na **figura 6.3**. Isso demonstra que nas águas do aquífero Pirabas existe uma forte correlação linear entre STD e CE, conforme revelam os valores dos coeficientes de determinação da regressão (R^2), iguais a 0,98 nas duas campanhas de amostragem.

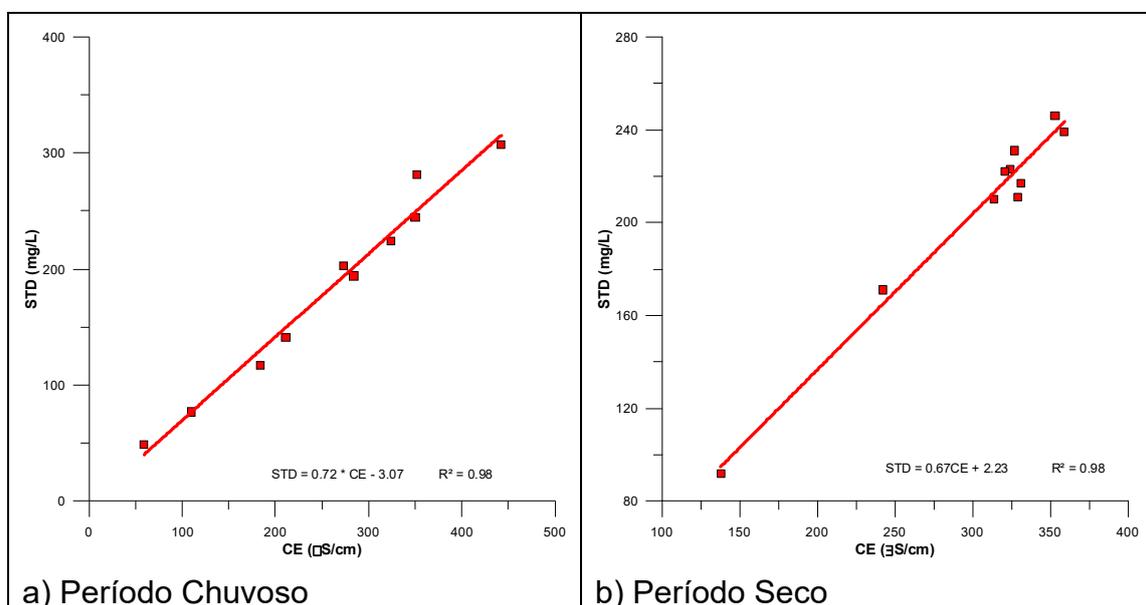


Figura 6.3 – Relações entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos no aquífero Pirabas, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

Segundo a estatística descritiva (**tabela 6.14**), os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Pirabas variam no período chuvoso de 49 mg/L a 307 mg/L , com média de 183,70 mg/L e mediana de 198,50 mg/L . No período de

estiagem, o mínimo observado foi de 92 mg/L e o máximo de 246 mg/L, com média de 206,20 mg/L e mediana igual a 219,50 mg/L.

Tabela 6.14 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Pirabas no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
STD-1	10	183,70	122,34	245,06	198,50	49,0	307,0	85,77	27,12	-0,21
STD-2	10	206,20	173,99	238,41	219,50	92,0	246,0	45,02	14,24	-2,15

Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011, que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade (**item 2.5**). Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados de STD abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano, em relação a esse parâmetro (**item 2.5**).

Com base nos dados de média e mediana verifica-se que a concentração de STD é maior na estiagem, o que sugere influência da sazonalidade.

Os teores mais elevados de STD na segunda coleta possivelmente se devem a presença de maiores teores de cálcio, magnésio e bicarbonato na estiagem, pois segundo Parron *et al.* (2011), o STD é a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água, que pode conter íons orgânicos e inorgânicos, como o bicarbonato, sulfato, fosfato, cálcio e magnésio.

Além disso, outro fator que contribui para os teores mais elevados de STD na segunda campanha é o fato de que a CE se apresentou mais elevada na estiagem, e como o STD possui uma forte correlação com esse parâmetro é de se esperar que apresentasse o mesmo comportamento, sem contar, sobretudo, que nesse período a influência de águas descendentes dos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras é significativamente menor.

6.7.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

De acordo com a estatística descritiva (**tabela 6.15**), nas águas subterrâneas do aquífero Pirabas, os valores de pH *in situ* encontrados no período chuvoso ficaram compreendidos entre 4,45 e 8,15, com média de 6,43 e mediana de 6,26. No período seco, os valores oscilaram entre um mínimo de 5,40 e máximo de 7,05, com média de 6,68 e mediana igual a 6,89.

Tabela 6.15 – Estatística descritiva do pH *in situ* do Aquífero Pirabas no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
pH-1	10	6,43	5,53	7,34	6,26	4,45	8,15	1,26	0,40	-0,02
pH-2	10	6,68	6,30	7,06	6,89	5,40	7,05	0,53	0,17	-1,97

De modo geral, as águas do aquífero Pirabas se caracterizam como levemente ácidas a neutras, uma vez que os valores de pH *in situ* < 7,0 estão presentes em 70% e 80% dos poços, respectivamente na primeira e segunda campanha de amostragem.

Os resultados de média e mediana mostram que no período chuvoso as águas são mais ácidas quando comparadas aos do período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade. Isto provavelmente se deve ao fato de que nessa época ocorrem inundações periódicas que fazem com que as águas superficiais ricas em CO₂ dissolvido da água do chuva se misturem as águas dos aquíferos sobrepostos ao aquífero Pirabas, deixando as águas ácidas, enquanto que no período de estiagem, com a cessação das cheias, a litologia carbonática do aquífero Pirabas passa a predominar, tornando as águas mais neutras.

6.7.7 – Potencial Redox (Eh)

Para o aquífero Pirabas, os diagramas pH-Eh elaborados usando os conceitos descritos no **item 2.7** revelam os ajustes lineares (**figura 6.4**) feitos a partir dos dados medidos em campo, que foram os seguintes:

No período chuvoso: $\text{pH} = -0,045\text{Eh} + 0,331$ $R^2 = 0,95$

No do período seco: $\text{pH} = -0,048\text{Eh} + 0,325$ $R^2 = 0,59$

O coeficiente de determinação do ajuste do período chuvoso indicou que existe uma correlação significativa entre as medidas de pH e Eh. De acordo com Jardim (2014), águas ácidas características de áreas de mineração, águas interiores e de mar, as quais apresentam valores de pH que normalmente oscilam entre 4 e 9 são sistemas abertos para a atmosfera e, portanto, podem estar saturadas com oxigênio próximo à superfície.

No período de estiagem, o coeficiente de determinação do ajuste se mostrou insignificante, indicando que não existe correlação significativa entre as medidas de pH e Eh efetuadas em campo. Isto sugere que, para fins de modelagem termodinâmica, a distribuição das espécies químicas não pode ser deduzida da concentração total de elementos via potencial redox medido.

O potencial redox é, por definição, a energia ganha na transferência de 1 mol de elétrons de um oxidante para H₂. O *h* em *Eh* indica que o potencial é na escala do hidrogênio e o *E* simboliza a força eletromotriz (Freeze & Cherry, 1979).

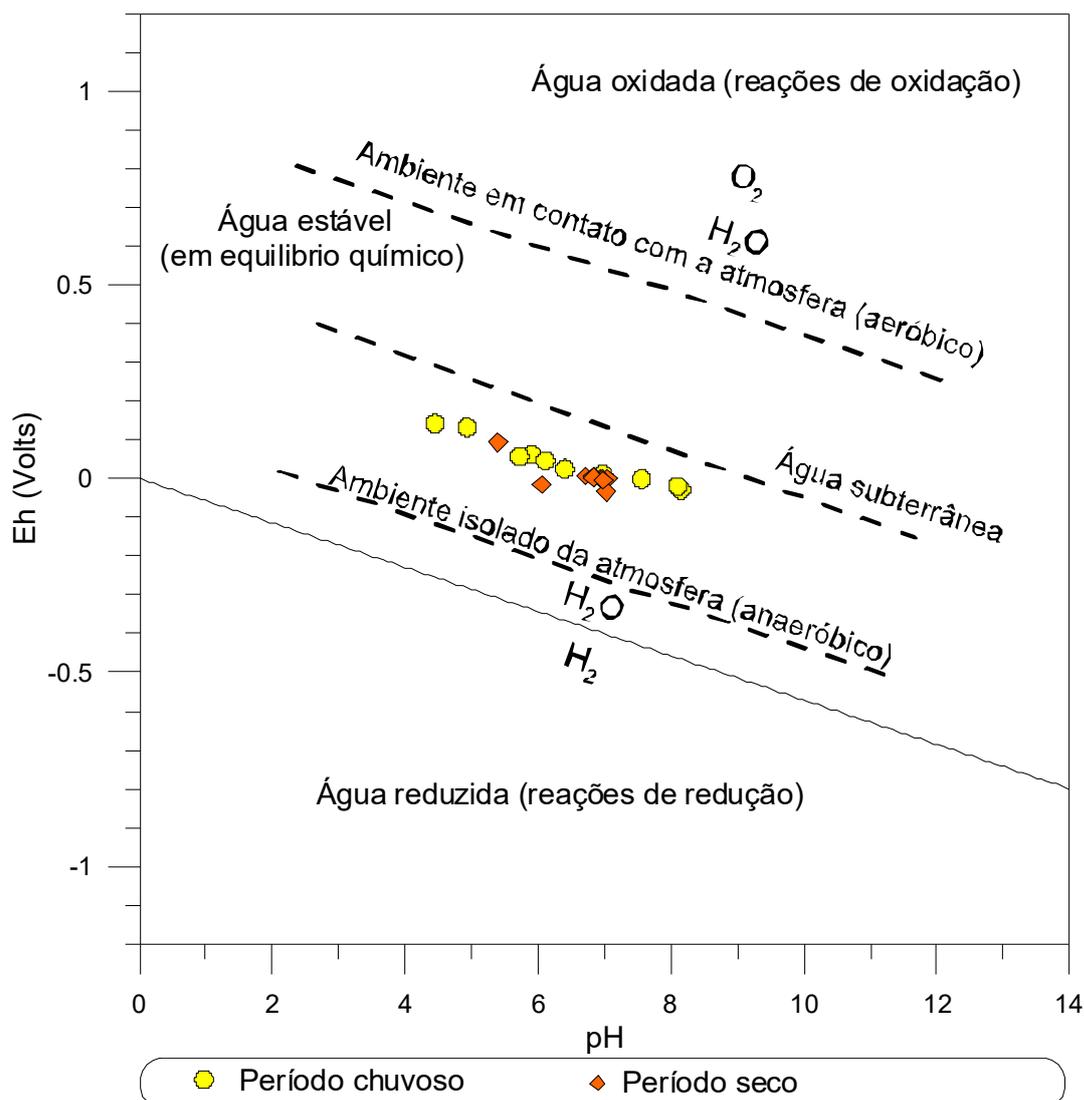


Figura 6.4 – Diagrama *pH versus Eh* (mV), de amostras de águas subterrâneas dos poços monitorados no aquífero Pirabas (*T in situ* variou de 27,6 a 41,7°C) nas duas campanhas de amostragem.

A estatística descritiva do Eh no aquífero Pirabas, expressa na **tabela 6.16**, mostra que no período chuvoso os valores de Eh oscilaram entre -29 e 142 mV, com média de 42,50 e mediana de 36 mV. No período de estiagem, os valores variaram entre -34 e 94 mV, com média de 5,80 e mediana de 0,50 mV.

Tabela 6.16 – Estatística descritiva do Eh (mV) do Aquífero Pirabas no período chuvoso – abril de 2012 (Eh-1) e no período seco – outubro de 2012 (Eh-2).

Eh (mV)	N	Média	Confiança 95%	Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Eh-1	10	42,50	0,72 84,28	36,00	-29,0	142,0	58,40	18,47	0,69
Eh-2	10	5,80	-18,02 29,62	0,50	-34,0	94,0	33,30	10,53	2,31

No período chuvoso, 70% (7/10) das amostras apresentaram resultados de Eh positivo, enquanto que no período de estiagem, 50% (5/10) das amostras obtiveram valores de Eh positivos, indicando que as águas do aquífero Pirabas se encontram em condições oxidantes.

Os dados de média e mediana obtidos nas duas campanhas revela que os valores de Eh são maiores no período chuvoso. Isto provavelmente se deve ao fato de que as águas do aquífero Pirabas são ligeiramente mais ácidas no período chuvoso, de acordo com os dados de média e medianas de pH *in situ* (item 6.7.6), o que favorece os maiores valores de Eh, devido às condições oxidantes.

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução em razão da contínua adição de doadores de elétrons, isto é, compostos orgânicos oxidáveis, o que acarreta, no caso do aquífero Pirabas, as diferenças de valores de Eh nas duas campanhas.

6.7.8 – Cátions

6.7.8.1 – Sódio

A estatística descritiva (tabela 6.17) indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Pirabas variam entre 2,06 e 25,45 mg/L no período chuvoso, com média de 10,53 mg/L e mediana de 6,41 mg/L. No período de estiagem, os valores ficaram compreendidos entre 0,73 e 11,60 mg/L, com média igual a 4,14 mg/L e mediana de 3,67 mg/L.

Tabela 6.17 – Estatística descritiva do Sódio do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

Na	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Na-1	10	10,53	3,90	17,16	6,41	2,06	25,45	9,27	2,93	0,97
Na-2	10	4,17	2,13	6,20	3,67	0,73	11,60	2,84	0,90	2,20

De acordo com a Portaria MS 2914/2011, todos os valores de sódio encontrados nas duas campanhas estão abaixo do VMP de 200 mg/L, padrão definido como de potabilidade para consumo humano, conforme descrito no item 2.8.1.

Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (item 2.8.1), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação.

A tabela 6.17 mostra que no período chuvoso os teores de sódio são maiores do que no período seco. Este comportamento é consistente com a ideia de que existe maior influência antrópica, quando ocorre uma maior “mistura” das águas do Pirabas com águas provenientes dos aquíferos sobrepostos e aflorantes (Barreiras e Pós-Barreiras), o que faz com neste período ocorra maiores teores de sódio oriundo das águas desses aquíferos.

6.7.8.2 – Potássio

A **tabela 6.18** mostra a estatística descritiva dos teores de potássio no aquífero Pirabas. No período chuvoso as concentrações de potássio oscilaram entre 0,38 e 6,89 mg/L, com média de 3,59 mg/L e mediana de 3,25 mg/L. No período de estiagem, a variação foi de 2,30 a 3,50 mg/L, com média de 2,81 mg/L e mediana de 2,69 mg/L.

Tabela 6.18 – Estatística descritiva do Potássio do Aquífero Pirabas no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

K	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
K-1	10	3,59	1,99	5,18	3,25	0,38	6,89	2,23	0,71	0,14
K-2	10	2,81	2,45	3,17	2,69	2,30	3,50	0,50	0,16	0,20

Segundo Pereira *et al.* (2008), o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais. Na área de estudo, os valores mínimo e máximo de potássio encontrados em ambas as campanhas foi de 0,38 e 6,89 mg/L.

Com base nos dados de média e mediana verifica-se que os valores de potássio no período chuvoso são superiores aos do período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade. Isto provavelmente se deve ao fato de que nessa época ocorrem inundações periódicas, as quais permitem que as águas superficiais se misturem as águas dos aquíferos sobrepostos e aflorantes (Barreiras e Pós-Barreiras) ao aquífero Pirabas, elevando os teores de potássio.

6.7.8.3 – Cálcio

A **tabela 6.19** mostra a estatística descritiva dos teores de cálcio medidos no aquífero Pirabas. No período chuvoso, os valores medidos estão compreendidos entre 2,0 e 157,8 mg/L, com média de 36,05 mg/L e mediana de 23,50 mg/L. Na estiagem, as concentrações de cálcio variam de 5,95 a 90,69 mg/L, sendo a média igual a 44,73 mg/L e a mediana de 42,84 mg/L.

Tabela 6.19 – Estatística descritiva do Cálcio do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Ca-1	10	36,05	2,79	69,31	23,50	2,0	157,8	46,50	14,70	2,33
Ca-2	10	44,73	29,26	60,21	42,84	5,95	90,69	21,64	6,84	0,53

Os dados de média e mediana obtidos nas duas campanhas revelam que os teores de cálcio são mais elevados no período seco, o que sugere influência da sazonalidade. Isto provavelmente ocorre, pois o aquífero Pirabas é de origem marinha.

De modo geral, os teores de cálcio no aquífero Pirabas são maiores no período seco quando prevalece maior influência de águas da própria formação carbonática, uma vez que é bem menor a mistura com águas induzidas por filtração vertical dos aquíferos sobrepostos (Barreiras e Pós-Barreiras).

Segundo Oliveira *et al.* (1998), o sistema aquífero Pirabas é caracterizado por sedimentos marinhos, fossilíferos, compostos por argilas calcíferas de cor cinza-esverdeada e por leitos de calcário duro, de coloração cinza-esbranquiçada, que se alternam sucessivamente com camadas de arenito calcífero, calcário e folhelho.

6.7.8.4 – Magnésio

A estatística descritiva na **tabela 6.20** mostra que os teores amostrados de magnésio nas águas do aquífero Pirabas no período chuvoso (abril de 2012) variam de 0,47 a 11,60 mg/L, com média de 4,40 mg/L e mediana de 4,41 mg/L. Na estiagem (outubro de 2012), os valores oscilaram entre 1,95 e 8,34 mg/L, com média de 6,50 mg/L e mediana de 6,63 mg/L.

Tabela 6.20 – Estatística descritiva do Magnésio do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

Mg	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mg-1	10	4,40	1,98	6,82	4,41	0,47	11,60	3,38	1,07	0,93
Mg-2	10	6,50	5,24	7,77	6,63	1,95	8,34	1,77	0,56	-2,08

De acordo com os dados de média e mediana obtidos nas duas campanhas verificou-se que os teores de magnésio são mais elevados no período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade.

De fato, no período seco prevalece um ambiente com menor contribuição do fluxo descendente, ou seja, há um menor aporte por filtração vertical de águas dos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras e disso resulta um predomínio do comportamento das águas carbonáticas do aquífero Pirabas.

6.7.9 – Ânions

6.7.9.1 – Cloreto

A **tabela 6.21** mostra a estatística descritiva dos teores de cloreto amostrados no ano de 2012 nas águas subterrâneas do aquífero Pirabas. No período chuvoso (abril de 2012) os valores de cloreto variaram de 1,98 a 33,03 mg/L, com média de 12,39 mg/L e mediana de 9,16 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 1,18 a 18,13 mg/L, com média de 3,80 mg/L e mediana de 2,19 mg/L.

Tabela 6.21 – Estatística descritiva do Cloreto do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Cl-1) - abril de 2012 e no período seco (Cl-2) – outubro de 2012.

Cl	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Cl-1	10	12,39	4,35	20,42	9,16	1,98	33,03	11,23	3,55	0,96
Cl-2	10	3,80	0,14	7,46	2,19	1,18	18,13	5,11	1,62	2,99

Na primeira campanha, 10% (1/10) das amostras apresentaram teores de cloreto abaixo do limite de detecção de 2 mg/L.

Todos os poços amostrados em ambas as campanhas apresentaram resultados de cloreto inferiores ao VMP de potabilidade para consumo humano definido pela Portaria MS 2914/11, assim como dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas do

aquífero Pirabas podem ser usadas para consumo humano, irrigação e recreação (**item 2.9.1**).

Com base nos dados de média e mediana nota-se que os valores no período chuvoso são superiores aos do período seco, indicando alguma influência da sazonalidade.

Isso é justificável, pois no período chuvoso predomina um comportamento com maior influência antrópica, quando ocorre uma maior “mistura” das águas do Pirabas com águas provenientes dos aquíferos sobrepostos e aflorantes (Barreiras e Pós-Barreiras), o que faz com neste período ocorra maiores teores de cloreto oriundo das águas desses aquíferos.

Tal premissa pode ser ratificada pela correlação significativa entre as variáveis Cl e NH₃ e correlação altamente significativa entre as variáveis Cl e NO₃, como pode ser observado no **item 6.6**.

6.7.9.2 – Sulfato

A estatística descritiva apresentada na **tabela 6.22** indica que os teores de sulfato nas águas subterrâneas, do aquífero Pirabas, no período chuvoso variam de 0,49 a 27,32 mg/L, apresentando média de 10,43 mg/L e mediana de 5,35 mg/L. No período seco, os teores variaram de 2,74 a 9,45 mg/L, com média de 5,10 mg/L e mediana igual a 5,09 mg/L.

Tabela 6.22 – Estatística descritiva do Sulfato do Aquífero Pirabas no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

Sulfato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
S-1	10	10,43	2,54	18,31	5,35	0,49	27,32	11,02	3,48	0,92
S-2	10	5,10	3,73	6,46	5,09	2,74	9,45	1,91	0,60	1,18

Na primeira campanha, 10% (1/10) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L.

Em ambas as coletas, todas as amostras apresentaram teores de sulfato inferiores aos limites estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011, assim como, dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, para consumo humano, dessedentação animal e recreação, como pode ser observado no **item 2.9.2**.

De acordo com os dados de média e mediana obtidos é possível notar que os teores de sulfato no período de estiagem são maiores quando comparados aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

A presença de sulfato no aquífero Pirabas se deve à oxidação de sulfeto de ferro (pirita) existente na formação, além da lixiviação da gipsita, que ocorrem especialmente no período de estiagem.

6.7.9.3 – Bicarbonato

A estatística descritiva dos teores de bicarbonato nas águas subterrâneas do aquífero Pirabas (**tabela 6.23**) revela que no período chuvoso, os valores oscilaram entre 0,0 e 198 mg/L, com média de 76,05 mg/L e mediana igual a 59 mg/L. No período de estiagem, as concentrações ficaram compreendidas entre 0,0 e 252 mg/L, com média de 153,80 mg/L e mediana igual a 157,50 mg/L.

Tabela 6.23 – Estatística descritiva do Bicarbonato do Aquífero Pirabas no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

Bicarbonato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
B-1	10	76,05	20,89	131,21	59,00	0,0	198,0	77,11	24,39	0,32
B-2	10	153,80	106,32	201,28	157,50	0,0	252,0	66,38	20,99	-1,18

Em ambas as campanhas de amostragem, 15% (2/13) dos poços obtiveram valores iguais à zero.

De acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 e com a Portaria MS 2914/11 não há restrição quanto às concentrações de bicarbonato para o consumo humano, ou seja, não é definido um valor máximo permitido, conforme descrito no **item 2.9.3**.

Com base nos dados de média, mediana e valores máximos, é possível concluir que os teores de bicarbonato são maiores no período de estiagem, refletindo efeito da sazonalidade. Como já mencionado, isto se explica porque prevalece um ambiente com menor contribuição do fluxo descendente, ou seja, há um menor aporte de águas da parte superior dos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras, e disso resulta o predomínio do comportamento das águas carbonáticas do aquífero Pirabas.

6.7.10 – Dureza

A estatística descritiva da dureza das águas subterrâneas do aquífero Pirabas (**tabela 6.24**) mostra que no período chuvoso os valores oscilaram entre 6,92 e 417,46 mg/L, com média de 108,17 mg/L e mediana de 79,50 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 22,87 a 252,45 mg/L, com média igual a 138,50 mg/L e mediana de 136,10 mg/L.

Tabela 6.24 – Estatística descritiva da Dureza do Aquífero Pirabas no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

Dureza	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
D-1	10	108,17	19,87	196,47	79,50	6,92	417,46	123,44	39,03	1,99
D-2	10	138,50	96,99	180,01	136,10	22,87	252,45	58,03	18,35	-0,04

Segundo a classificação de Von Sperling (2005) apresentada no **item 2.10**, as águas do aquífero Pirabas no período chuvoso são 40% (4/10) do tipo mole, 40% (4/10) moderada, 10% (1/10) dura e 10% (1/10) muito dura; enquanto que no período seco, se classificam 10% (1/10) como mole, 50% (5/10) como moderada e 40% (4/10) como dura. Isto provavelmente se deve a litologia da formação Pirabas que é caracterizada por leitos de calcário ricamente fossilíferos.

Nas duas campanhas, nenhum dos poços amostrados ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.10**).

De acordo com os dados de média e mediana é possível verificar que os teores de dureza são mais elevados no período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade.

Os teores mais elevados de dureza no período de estiagem se devem sobretudo à redução do fluxo descendente de águas do aquífero Barreiras, o que aumenta a influência da litologia do aquífero Pirabas, pois de acordo com Matta *et al.* (2004), essa unidade é composta por sedimentos marinhos, fossilíferos, onde compõem camadas de argilas calcíferas de cor cinza-esverdeada e leitos de calcário duro, de coloração cinza esbranquiçada, que se alternam sucessivamente com camadas de arenito calcífero, siltitos e areias.

Além disso, vale ressaltar que a composição da dureza se baseia em teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} , e como ambos foram mais elevados na segunda campanha, é de se esperar que a dureza apresentasse o mesmo comportamento desses elementos.

6.7.11 – Compostos Nitrogenados

6.7.11.1 - Nitrato

A **tabela 6.25** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas do aquífero Pirabas nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variam de 0,09 a 8,16 mg/L, com média de 3,0 mg/L e mediana igual a 2,19 mg/L. No período seco, os teores variam de 0,09 a 4,49 mg/L, com média de 0,61 mg/L e mediana de 0,20 mg/L.

Tabela 6.25 – Estatística descritiva do Nitrato do Aquífero Pirabas no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	10	3,00	0,70	5,30	2,19	0,09	8,16	3,21	1,02	0,34
N-2	10	0,61	-0,37	1,58	0,20	0,09	4,49	1,36	0,43	3,16

Na primeira campanha, 50% (5/10) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L. Na segunda campanha, 20% (2/10) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L; e 70% (7/10) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,2 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Nenhuma das amostras analisadas nas duas campanhas ultrapassou VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.11**), assim como estiveram dentro dos padrões indicados para consumo humano, dessedentação animal e recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.11**).

Com base nos dados de média, mediana e valores máximos considera-se que os valores de nitrato no período chuvoso são superiores aos do período seco, o que sugere influência da sazonalidade.

Isso é justificável, pois no período chuvoso predomina um comportamento com maior influência antrópica, quando ocorre uma maior “mistura” das águas do Pirabas com águas provenientes dos aquíferos sobrepostos e aflorantes (Barreiras e Pós-Barreiras), o que faz com neste período ocorra maiores teores de nitrato oriundo das águas contaminadas desses aquíferos.

6.7.11.2 - Nitrito

A **tabela 6.26** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrito presentes nas águas subterrâneas do aquífero Pirabas nas duas campanhas de amostragem realizadas. No período chuvoso, 90% (9/10) das amostras apresentaram teores de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L. No período de estiagem, 90% (9/10) das amostras apresentaram teores de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L; e 10% (1/10) das amostras apresentaram teores de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,04 mg/L.

Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Tabela 6.26 – Estatística descritiva do Nitrito do Aquífero Pirabas no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrito	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	10	0,019	0,019	0,03	0,019	0,019	0,042	0,01	0,021	3,16
N-2	10	0,019	0,019	0,03	0,019	0,019	0,039	0,01	0,002	3,16

Dentre o total de amostras analisadas apenas 10% (1/10) dos poços no período chuvoso apresentou teores quantificáveis de nitrito no poço BEL029 de 0,042 mg/L.

Em ambas as campanhas, todas as amostras analisadas apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, assim como poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, em relação a esse parâmetro (**item 2.11**).

Com base nos dados, considera-se que o nitrito nas águas do aquífero Pirabas não sofre influência da sazonalidade, uma vez que 90% e 100%, respectivamente na primeira e segunda campanha apresentaram valores abaixo do limite de detecção.

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do aquífero Pirabas são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlfs (2010), nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores geralmente abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

6.7.11.3 - Amônia

A **tabela 6.27** mostra a estatística descritiva dos teores de amônia presentes nas águas do aquífero Pirabas nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de amônia variam de 0,09 a 9,1 mg/L, com média de 1,55 mg/L e mediana de 0,21 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 0,5 mg/L, com média igual a 0,13 mg/L e mediana de 0,09 mg/L.

Tabela 6.27 – Estatística descritiva da Amônia do Aquífero Pirabas no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

Amônia	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
A-1	10	1,55	-0,52	3,63	0,21	0,09	9,1	2,90	0,92	2,40
A-1	10	0,13	0,04	0,23	0,09	0,09	0,5	0,13	0,04	3,15

Na primeira e segunda coleta, respectivamente, 50% (5/10) e 60% (6/10) das amostras apresentaram valores de amônia inferiores ao limite de detecção de 0,1 mg/L.

No período chuvoso, 20% (2/10) das amostras analisadas ultrapassaram os padrões de VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L (**item 2.11**).

Com base nos dados de média, mediana e valores máximos observa-se que os teores de amônia são maiores no período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade. Isso provavelmente se deve a contaminações de ordem antrópica, transmitidas por filtração vertical a partir das águas dos aquíferos sobrepostos (Barreiras e Pós-Barreiras), pois a região é periodicamente inundada pelas águas superficiais e, provavelmente, as fossas sépticas localizadas próximas aos poços transbordam, se misturam, e infiltram no lençol freático, ocasionando a sua contaminação.

Segundo CPRM (2002), as análises bacteriológicas realizadas nas principais drenagens demonstram que os rios urbanos da Região Metropolitana de Belém (RMB) estão comprometidos pelos elevados teores de coliformes fecais e totais, turbidez e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Na maioria das amostras coletadas, são altas as concentrações de amônia e nitrogênio e extremamente baixas as de oxigênio dissolvido (OD).

De acordo com Alaburda & Nishihara (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido a sua fácil adsorção por partículas do solo ou a oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

6.7.12 – Ferro e Manganês

6.7.12.1 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro nas águas subterrâneas do aquífero Pirabas (**tabela 6.28**) mostra no período chuvoso valores compreendidos entre 0,021 e 1,45 mg/L, com média de 0,31 mg/L e mediana de 0,15 mg/L. No período seco, a faixa de variação é de 0,30 a 26,63 mg/L, com média de 3,41 mg/L e mediana de 0,50 mg/L.

Tabela 6.28 – Estatística descritiva do Ferro do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

Fe	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Fe-1	10	0,31	-0,01	0,63	0,15	0,021	1,45	0,45	0,14	2,22
Fe-2	10	3,41	-2,48	9,29	0,50	0,30	26,63	8,23	2,60	3,07

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 20% (2/10) dos poços no período chuvoso e 90% (9/10) no período de estiagem apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Além disso, 10% (1/10) dos poços amostrados na segunda campanha apresentaram teores de ferro que ultrapassaram os limites recomendados para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008.

Com base nos dados de média, mediana e valores máximos verificou-se que os valores do período de estiagem são superiores aos do período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade.

Segundo Picanço *et al.* (2002), apesar da Formação Pirabas ser uma unidade menos favorável à liberação de ferro, uma vez que é constituída basicamente por calcários puros e diversificados, existe nessa formação a ocorrência de nontronita, esmectita rica em ferro, assim como de pirita (sulfeto de ferro).

O aquífero Pirabas normalmente contém teores de ferro dentro dos limites recomendáveis, tanto pela OMS quanto pelo Ministério da Saúde. Entretanto, quando esses valores são altos é de se supor que o poço em produção também esteja bombeando água dos aquíferos superiores (CPRM, 2002), que no caso da área de estudo trata-se do aquífero Barreiras rico em ferro.

De modo geral, os aquíferos da PHA apresentam altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea, os quais resultam principalmente das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas, conforme descrito no **item 2.12**.

6.7.12.2 – Manganês

A estatística descritiva das concentrações de manganês nas águas subterrâneas do aquífero Pirabas (**tabela 6.29**) revela que os teores de manganês no período chuvoso variam de 0,00062 a 0,15 mg/L, com média de 0,06 mg/L e mediana igual a 0,02 mg/L. No período seco, os valores ficam entre um mínimo de 0,016 e um máximo de 0,17 mg/L, sendo a média de 0,13 mg/L e a mediana igual a 0,14 mg/L.

Tabela 6.29 – Estatística descritiva do Manganês do Aquífero Pirabas no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

Mn	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mn-1	10	0,06	0,01	0,10	0,02	0,00062	0,15	0,07	0,02	0,64
Mn-2	10	0,13	0,09	0,16	0,14	0,016	0,17	0,05	0,02	-1,49

Na primeira e segunda campanha, respectivamente, 30% (3/10) e 70% (7/10) dos poços apresentaram teores de manganês acima do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano, bem como ultrapassou os limites previstos na Resolução CONAMA 396/2008, no que se refere aos usos da água para consumo humano e recreação (**item 2.12**).

Além disso, 40% (4/10) dos poços amostrados no período chuvoso e 90% (9/10) dos poços no período de estiagem apresentaram teores de manganês que ultrapassaram os limites recomendados para dessedentação animal, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Nenhuma das amostras nas duas campanhas de amostragem ultrapassaram os limites máximos permitidos para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Com base nos dados de média, mediana e valores máximos verifica-se que os teores de manganês são maiores no período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade. Os resultados obtidos no aquífero Pirabas são coerentes, pois de acordo Parron *et al.* (2011), o ferro e o manganês são elementos que apresentam comportamento químico muito parecido na natureza e em virtude de afinidades geoquímicas quase sempre ocorrem juntos.

6.7.13 – Isótopos Ambientais

6.7.13.1 – Oxigênio 18 e Deutério

Em hidrologia isotópica, a **equação 2.2** que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig (1961) é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas, conforme pode ser observado no **item 2.15.1**. Contudo, especificamente no caso do aquífero Pirabas, não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem a 1 (um) único ponto de amostragem (**tabela 6.30**), não sendo portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**.

Tabela 6.30 – Valores de oxigênio-18 e deutério obtido na amostra coletada no aquífero Pirabas no período seco (outubro de 2012).

Poço	$\delta^{18}O\text{‰}$	$\delta D\text{‰}$
BEL005	-5,24	-28,87

6.7.13.2 – Trício

Clark & Fritz (1997) realizaram uma proposta de interpretação qualitativa de dados de ^3H para dados de regiões costeiras e de baixa latitude, onde é feita uma relação entre os valores de unidades de trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**), conforme descrito no **item 2.15.2**.

Sendo assim, com base nessa relação e no dado de ^3H obtido no poço BEL005 no aquífero Pirabas (**figura 6.5**), é possível verificar que o aquífero possui água submoderna com recarga anterior a 1952.

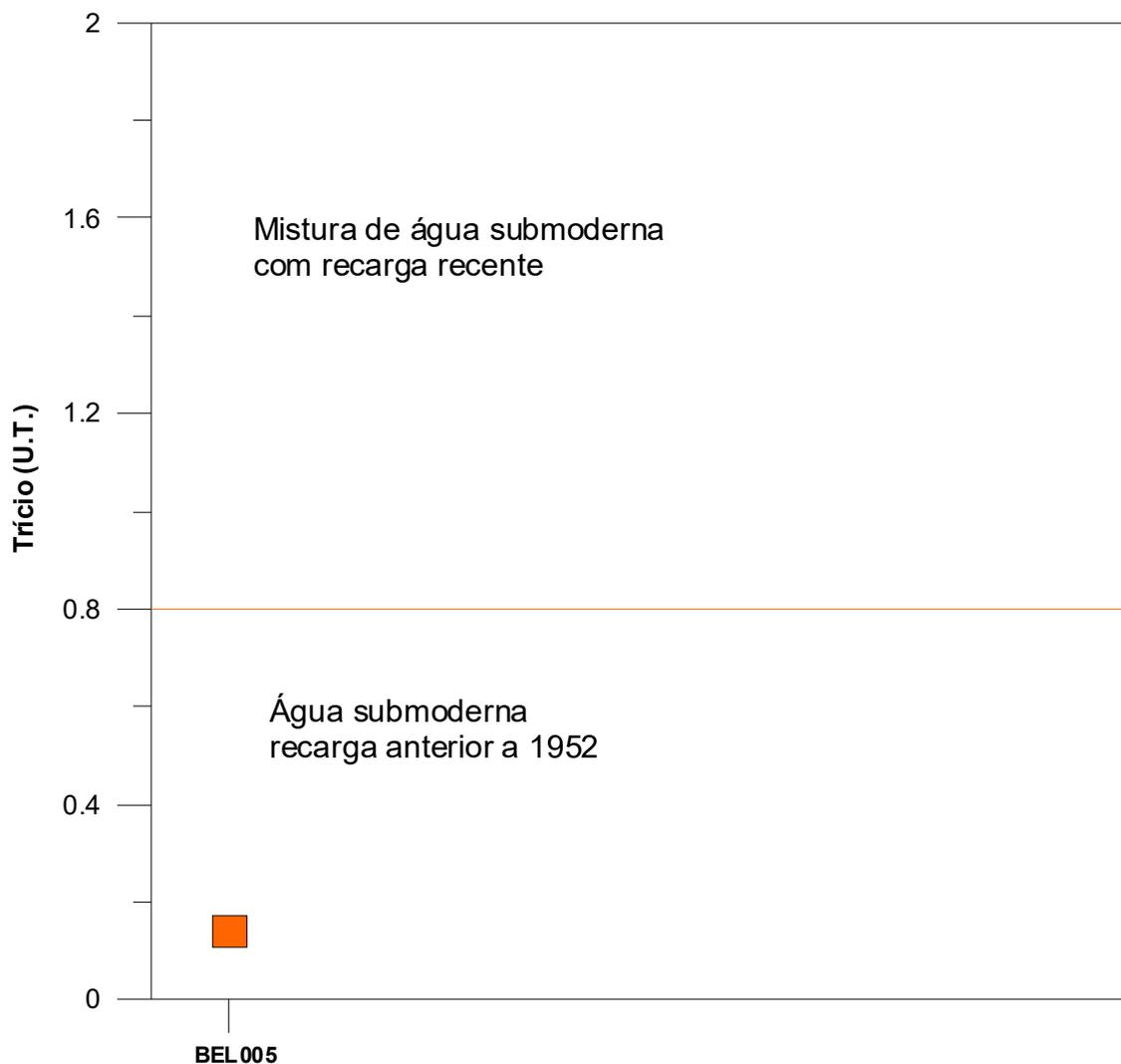


Figura 6.5 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Pirabas, segundo o resultado de trítio de 1 (uma) amostra coletada.

6.7.13.3 – Carbono 14

De acordo com a metodologia proposta por Münnich (1957), descrita no **item 2.15.3** e com base nos dados contidos na **tabela 6.31**, o diagrama da **figura 6.6** indica que no aquífero Pirabas ocorre a presença de paleoáguas nos poços BEL029 (20.530 BP) e BEL030 (22.300 BP), ou seja, águas com tempo de residência igual ou superior a 200 anos. Esses resultados sugerem a existência de águas mais antigas armazenadas em profundidade no aquífero Pirabas, o que é coerente haja vista que os poços possuem respectivamente 273 e 281 m de profundidade.

Tabela 6.31 – Idade aparente ou convencional do radiocarbono (^{14}C) em anos BP (*before present* – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (*percent modern carbon*).

Resultado	BEL029	BEL030
Idade Aparente C14 (Fração Moderna)	20530+/-80 BP	22300+/-90 BP
Fmdn - fração de carbono moderno	0,0776 +/-0,0008	0,0623 +/-0,0007
Razão C13/C12 (‰)	-16,5	-16,3

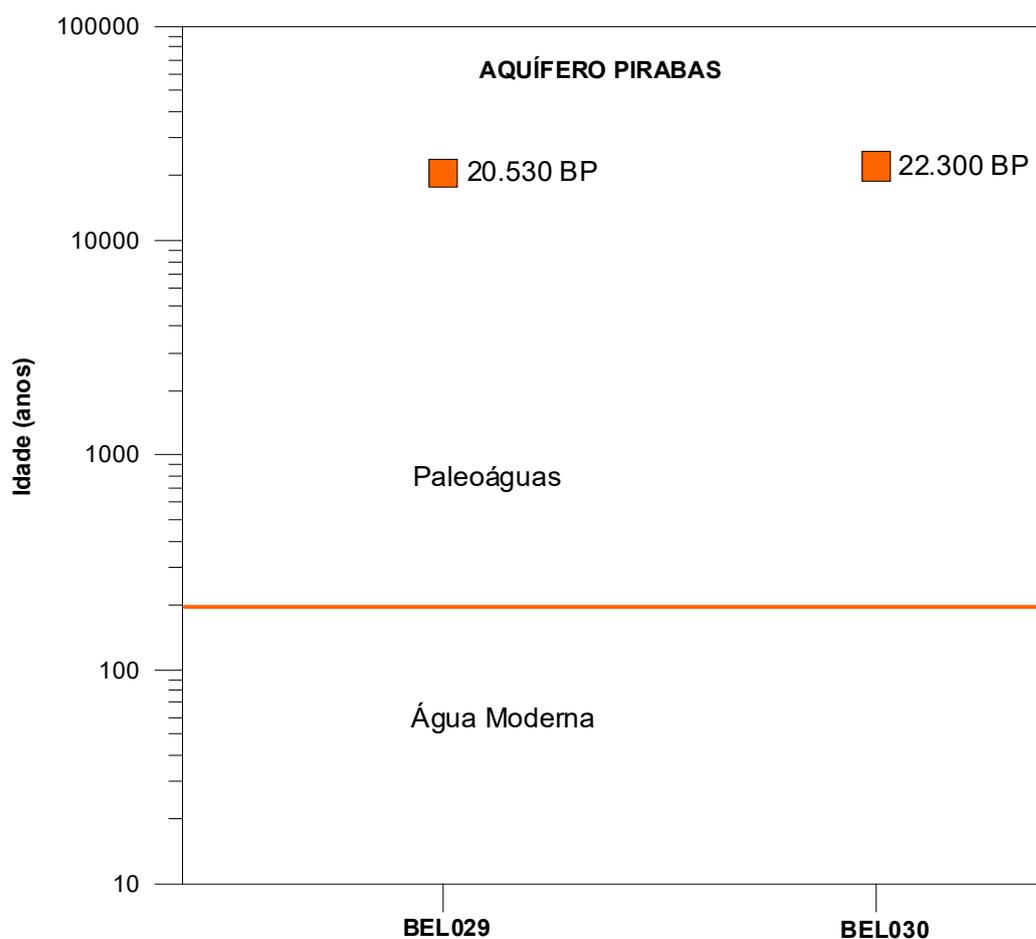


Figura 6.6 – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Pirabas.

6.7.13.4 - Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no aquífero Pirabas permitiram alcançar os seguintes resultados:

- Não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem a 1 (um) único ponto de amostragem, não sendo, portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**;

- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) indicaram que as águas do aquífero Pirabas têm água submoderna com recarga anterior a 1952;
- A datação radiométrica de Carbono-14 revelou a presença de paleoáguas, com tempo de residência superior a 20.000 anos, o que sugere a existência de águas mais antigas armazenadas em profundidade no aquífero Pirabas.

6.7.14 – Parâmetros Biológicos

Coliformes Totais

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Pirabas apresentaram em 30% (3/10) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 50% (5/10) das amostras.

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, 70% (7/10) dos poços na primeira campanha e 50% (5/10) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano.

Isso provavelmente se deve a contaminações de ordem antrópica, transmitidas por filtração vertical a partir das águas dos aquíferos sobrepostos (Barreiras e Pós-Barreiras), pois a região é periodicamente inundada pelas águas superficiais, e provavelmente as fossas sépticas localizadas próximas aos poços transbordam, se misturam, e infiltram no lençol freático, ocasionando a sua contaminação.

Segundo Zoby (2008) a ausência de sistema de esgotamento sanitário é extremamente preocupante, pois a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

Escherichia Coli

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

As águas do aquífero Pirabas apresentaram a presença de *E. coli* em 10% (1/10) dos casos na segunda campanha de amostragem.

Com base nos resultados das análises, verifica-se que 100% (10/10) dos poços na primeira coleta e 90% (9/10) dos poços na segunda coleta apresentaram padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as suas águas podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**).

De acordo com CPRM (2002), em alguns poços rasos do aquífero Pirabas localizados na Região Metropolitana de Belém (RMB), a presença de coliformes fecais e totais é uma constante, desaconselhando-se a ingestão dessa água *in natura*, por problemas de saúde que trará às pessoas que a consumirem. Sem sombra de dúvidas a presença das bactérias do grupo coliforme é devido à proximidade de fossas e/ou má construção dos poços, que, neste caso, tem no anel desprotegido o principal meio de acesso dos contaminantes, a partir das águas dos aquíferos sobrepostos (Barreiras e Pós-Barreiras) que são transmitidas por filtração vertical.

6.7.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Pirabas Segundo a Composição Química

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Pirabas, com base nos dados coletados na rede de 10 (dez) poços de monitoramento em duas campanhas: a primeira, no período chuvoso (abril de 2012) e a segunda no período de estiagem (outubro de 2012).

6.7.15.1 – Diagrama Triangular de Piper

Período chuvoso

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 6.7** e **tabela 6.32**, é possível identificar que as águas do aquífero Pirabas no período chuvoso (abril de 2012), no que se refere aos cátions, são 60% (6/10) cálcicas, 20% (2/10) sódicas e 20% (2/10) mistas. Já no que concerne a presença de ânions, as águas são 60% (6/10) bicarbonatadas, 30% (3/10) cloretadas e 10% (1/10) mistas.

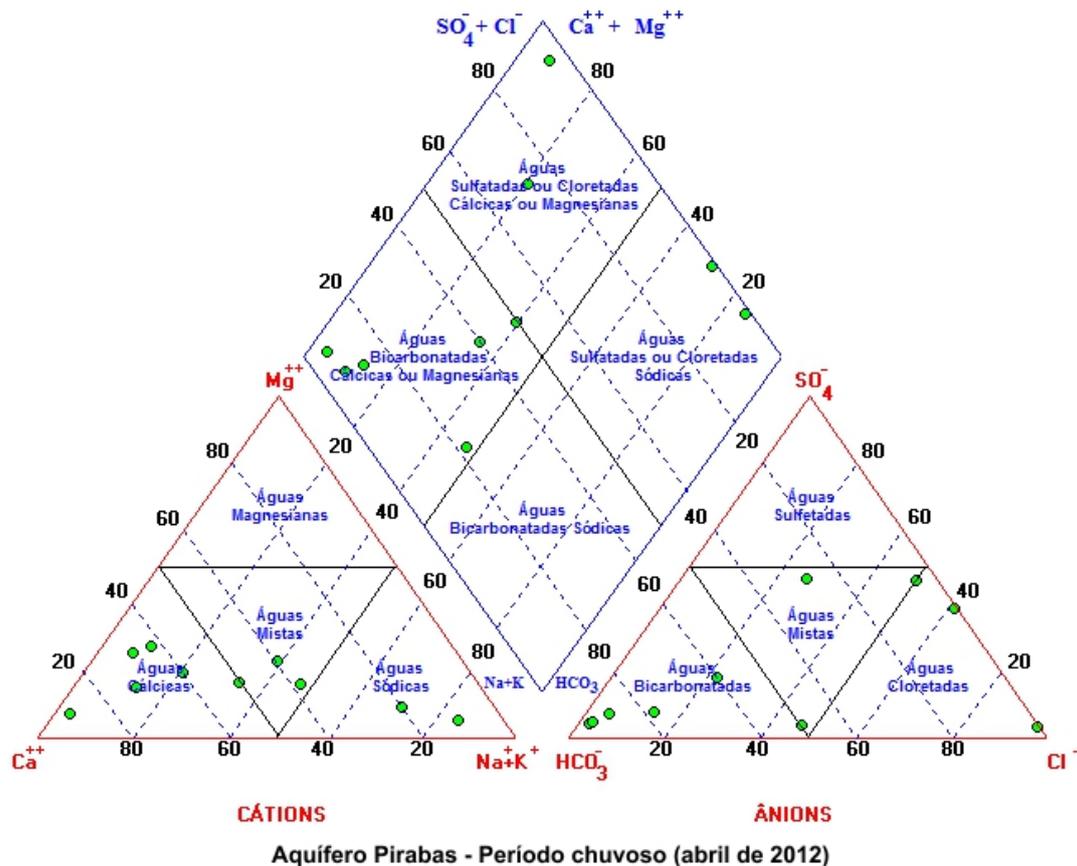


Figura 6.7 – Classificação das águas do aquífero Pirabas, coletadas no período chuvoso (abril de 2012) segundo o diagrama Triangular de Piper.

De modo geral, no período chuvoso, as águas do aquífero Pirabas se apresentam como cloretadas cálcicas (20%), bicarbonatadas cálcicas (60%) e cloretadas sódicas (20%).

Sendo assim, com base nos dados apresentados na **figura 6.7** e na **tabela 6.32**, é possível afirmar que no período chuvoso, os tipos de águas mais frequentes no aquífero Pirabas são as *Bicarbonatas Cálcidas*.

Tabela 6.32 - Classificação das águas do aquífero Pirabas segundo a composição química - período chuvoso (abril de 2012).

Cátions	Poços	%	Anions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfatadas	0	0	Águas Cloretadas Cálcidas	2	20
Águas Cálcidas	6	60	Águas Bicarbonatadas	6	60	Águas Bicarbonatadas Cálcidas	6	60
Águas Sódicas	2	20	Águas Cloretadas	3	30	Águas Bicarbonatadas Sódicas	0	0
Águas Mistas	2	20	Águas Mistas	1	10	Águas Cloretadas Sódicas	2	20

Período de estiagem

De acordo com a **figura 6.8** e **tabela 6.33** verifica-se que as águas do aquífero Pirabas no período seco (outubro de 2012), quanto à presença de cátions, são 90% (9/10) cálcicas e 10% (1/10) sódicas. Com relação aos ânions é possível identificar que 90% (9/10) das águas são bicarbonatadas e 10% (1/10) são cloretadas.

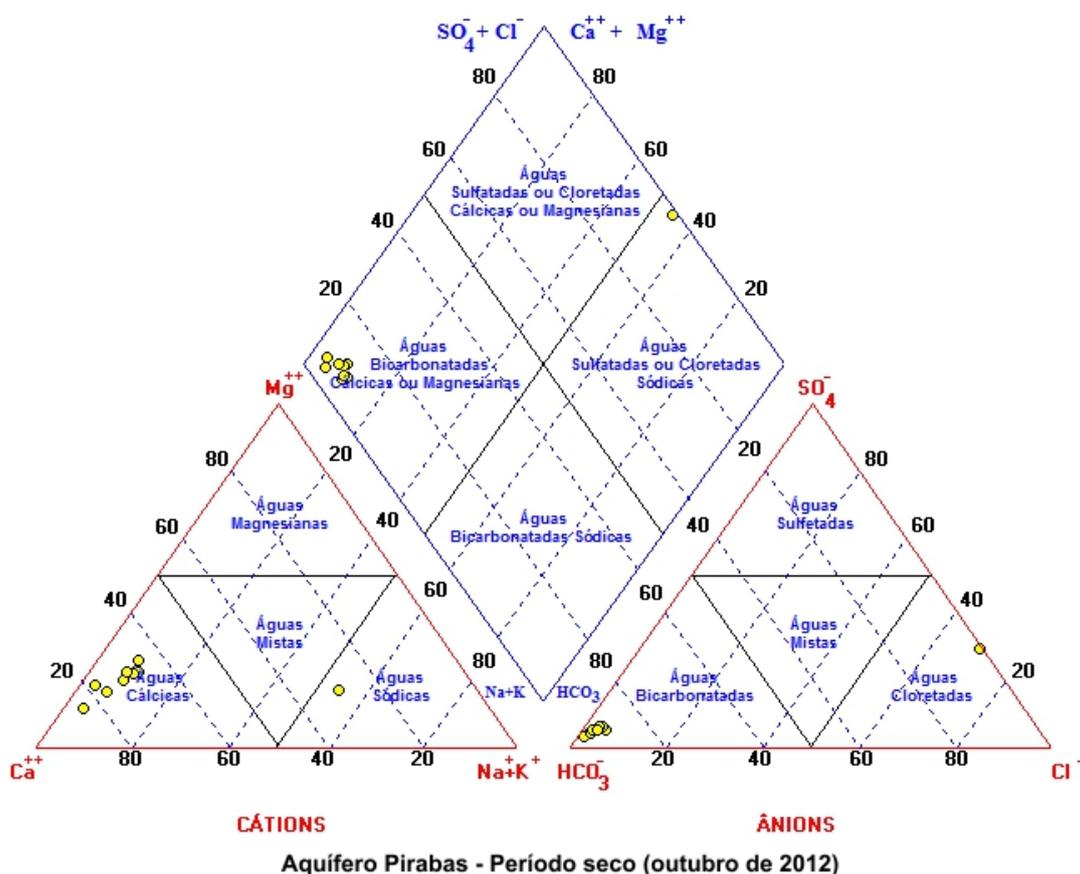


Figura 6.8 – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Pirabas, através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.

Mediante análise dos dados da **tabela 6.33** e **figura 6.8**, é possível afirmar que de modo geral, as águas do aquífero Pirabas se distribuem como bicarbonatadas cálcicas em 90% das amostras e cloretadas sódicas em 10%.

Desse modo, verifica-se que no período de estiagem, as águas do aquífero Pirabas são em sua maioria *Bicarbonatadas Cálcicas*.

Portanto, é possível concluir, com base nas duas campanhas de amostragem, que as águas subterrâneas do aquífero Pirabas mostram padrão de águas Bicarbonatadas Cálcicas e que esses tipos não se modificam com a sazonalidade.

Tabela 6.33 - Classificação das águas do aquífero Pirabas, de acordo com a composição química - período seco (outubro de 2012).

Cátions	Poços	%	Anions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfatadas	0	0	Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcicas	0	0
Águas Cálcicas	9	90	Águas Bicarbonatadas	9	90	Águas Bicarbonatadas Cálcicas	9	90
Águas Sódicas	1	10	Águas Cloretadas	1	10	Águas Bicarbonatadas Sódicas	0	0
Águas Mistas	0	0	Águas Mistas	0	0	Águas Cloretadas Sódicas	1	10

6.7.15.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012, em 10 poços situados no aquífero Pirabas foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos, os íons predominantes em cada um dos poços analisados.

Período chuvoso

Os resultados da primeira campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Pirabas segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 6.34**.

Tabela 6.34 - Classificação das águas do aquífero Pirabas de acordo com a predominância de íons - período chuvoso (abril de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Sulfatada Cálcica	01	10
Água Cloretada Sódica	02	20
Água Bicarbonatada Cálcica	05	50
Água Bicarbonatada Sódica	01	10
Água Cloretada Cálcica	01	10

Verificou-se que as amostras coletadas no período chuvoso (abril de 2012) no aquífero Pirabas são 10% (1/10) sulfatadas cálcicas (**figura 6.9a**), 20% (2/10) cloretadas sódicas (**figura 6.9b**), 50% (5/10) bicarbonatadas cálcicas (**figura 6.9c**), 10% (1/10) bicarbonatada sódica (**figura 6.9d**) e 10% (1/10) cloretada cálcica (**figura 6.9e**). Com base nos dados da primeira campanha é possível dizer que os tipos de águas mais frequentes no aquífero Pirabas são *Bicarbonatadas Cálcicas*.

Aquífero Pirabas (Água Sulfatada Cálcica) – abril de 2012

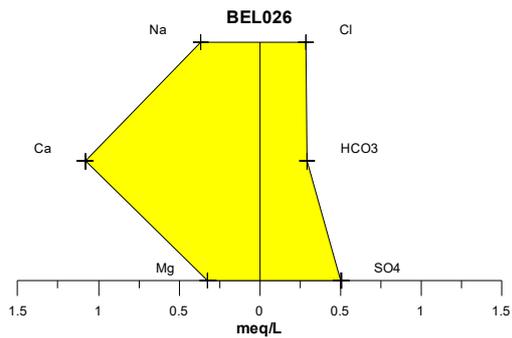


Figura 6.9a – Água sulfatada cálcica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Pirabas.

Aquífero Pirabas (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

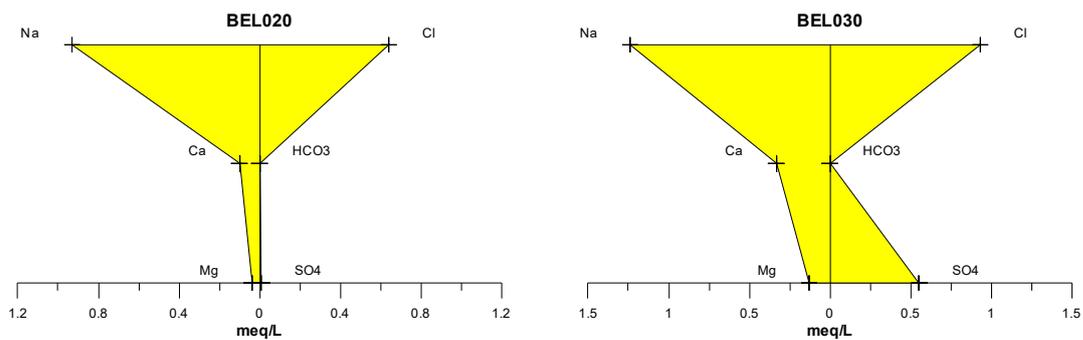


Figura 6.9b – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Pirabas.

Aquífero Pirabas (Águas Bicarbonatadas Cálcicas) – abril de 2012

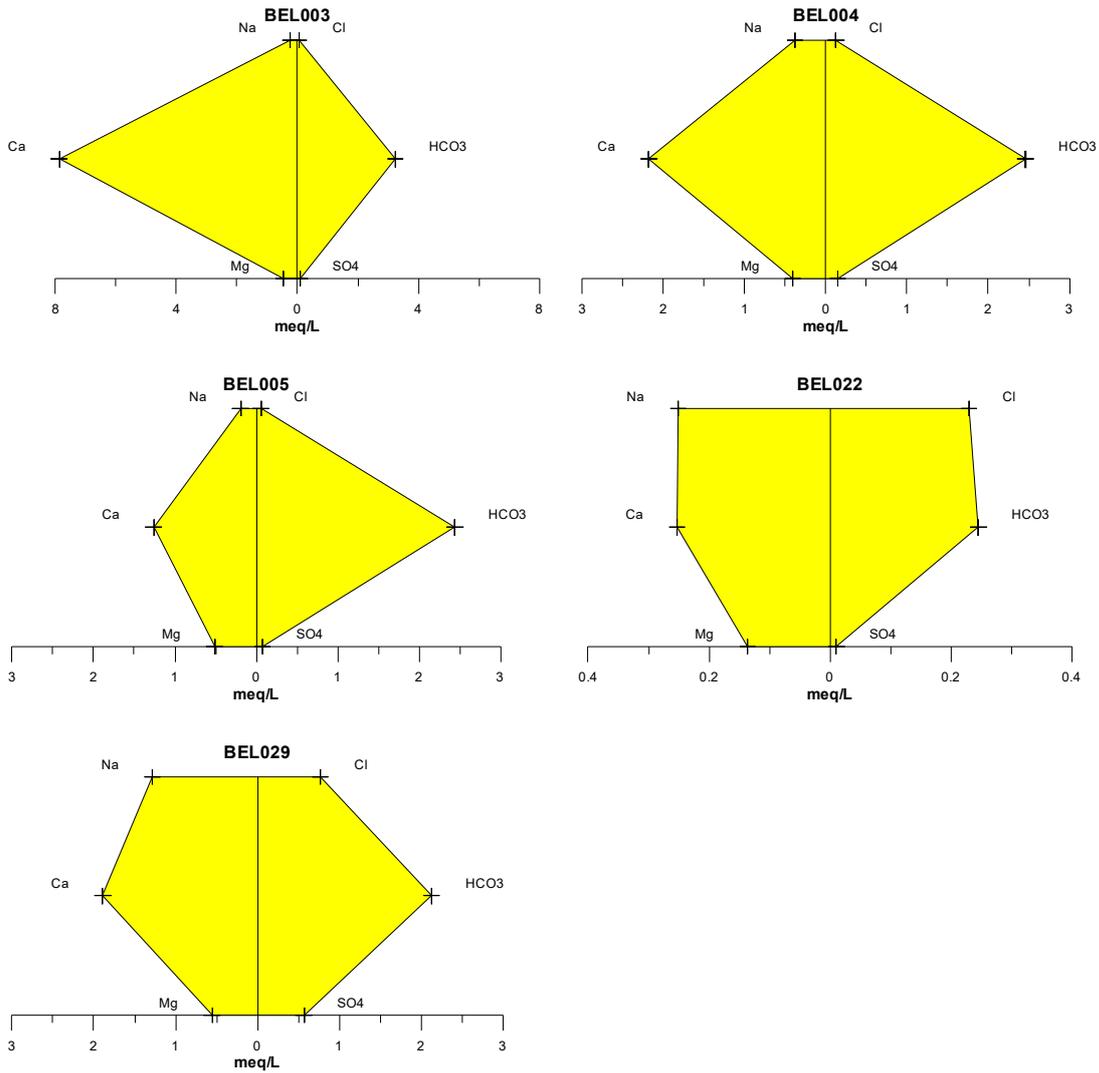


Figura 6.9c – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Pirabas.

Aquífero Pirabas (Água Bicarbonatada Sódica) – abril de 2012

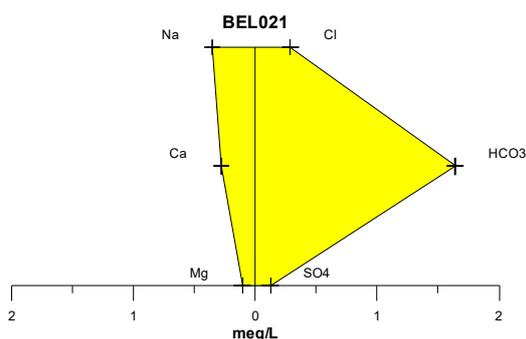


Figura 6.9d – Água bicarbonatada sódica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Pirabas.

Aquífero Pirabas (Água Cloretada Cálcica) – abril de 2012

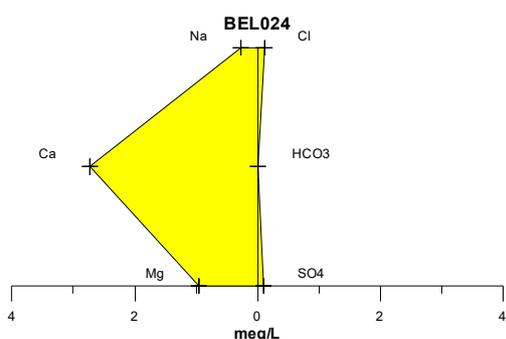


Figura 6.9e – Água cloretada cálcica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Pirabas.

Período de estiagem

Os resultados da segunda campanha, assim como a classificação das águas do aquífero Pirabas segundo a predominância de íons, estão apresentados na **tabela 6.35**.

Tabela 6.35 - Classificação das Águas do Aquífero Pirabas de acordo com a predominância de íons - Período seco (outubro de 2012).

Classificação	Poços	%
Água Bicarbonatada Cálcica	09	90
Água Cloretada Sódica	01	10

Analisando os resultados das amostras de água coletadas no aquífero Pirabas no período seco, em outubro de 2012, verificou-se que 90% (9/10) das águas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas (**figura 6.10a**); e 10% (1/10) cloretada sódica (**figura 6.10b**). Portanto, as águas do aquífero Pirabas

coletadas em outubro de 2012, na sua maioria são classificadas como *Bicarbonatadas Cálcicas*.

Aquífero Pirabas (Águas Bicarbonatadas Cálcicas) - outubro de 2012

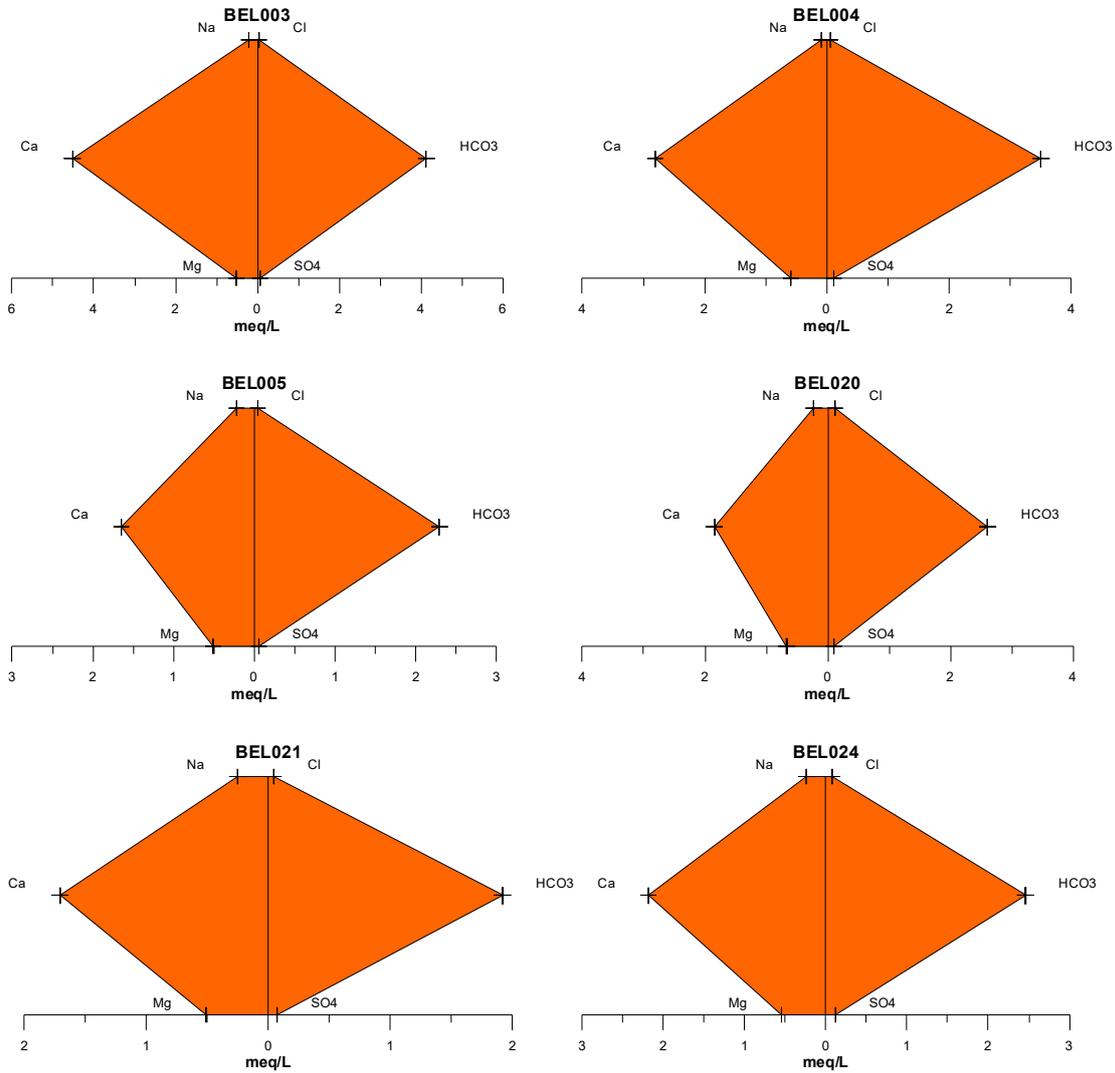


Figura 6.10a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Pirabas.

Continuação

Aquífero Pirabas (Águas Bicarbonatadas Cálcicas) - outubro de 2012

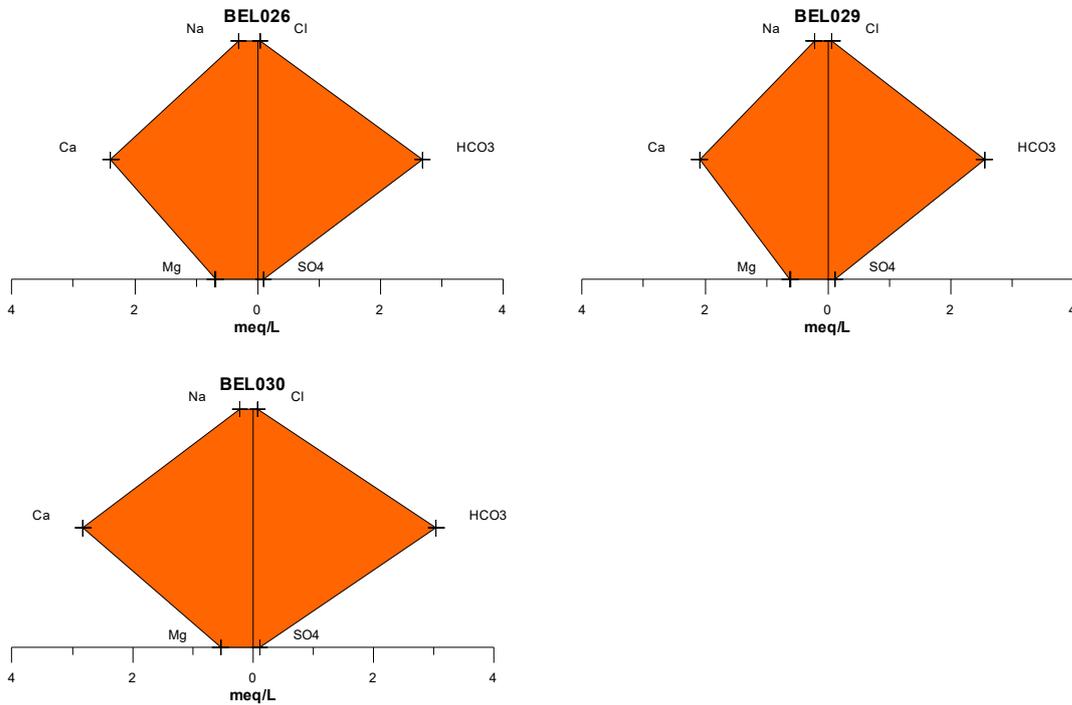


Figura 6.10a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Pirabas (Continuação).

Aquífero Pirabas (Água Cloretada Sódica) - outubro de 2012

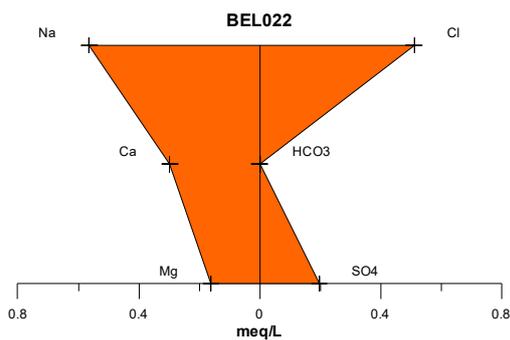


Figura 6.10b – Água cloretada sódica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Pirabas.

6.7.16 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Pirabas Segundo o Uso

6.7.16.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano

A potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Pirabas para consumo humano, avaliada através do Diagrama de Schoeller-Berkaloff, é apresentada na **figura 6.11** para o período chuvoso e na **figura 6.12** para o período de estiagem. Na primeira campanha, verifica-se que quase todos os parâmetros apresentam águas de boa potabilidade, com exceção do parâmetro cálcio que apresentou a classificação passável, o que é coerente, pois o aquífero Pirabas é composto por leitos de calcário.

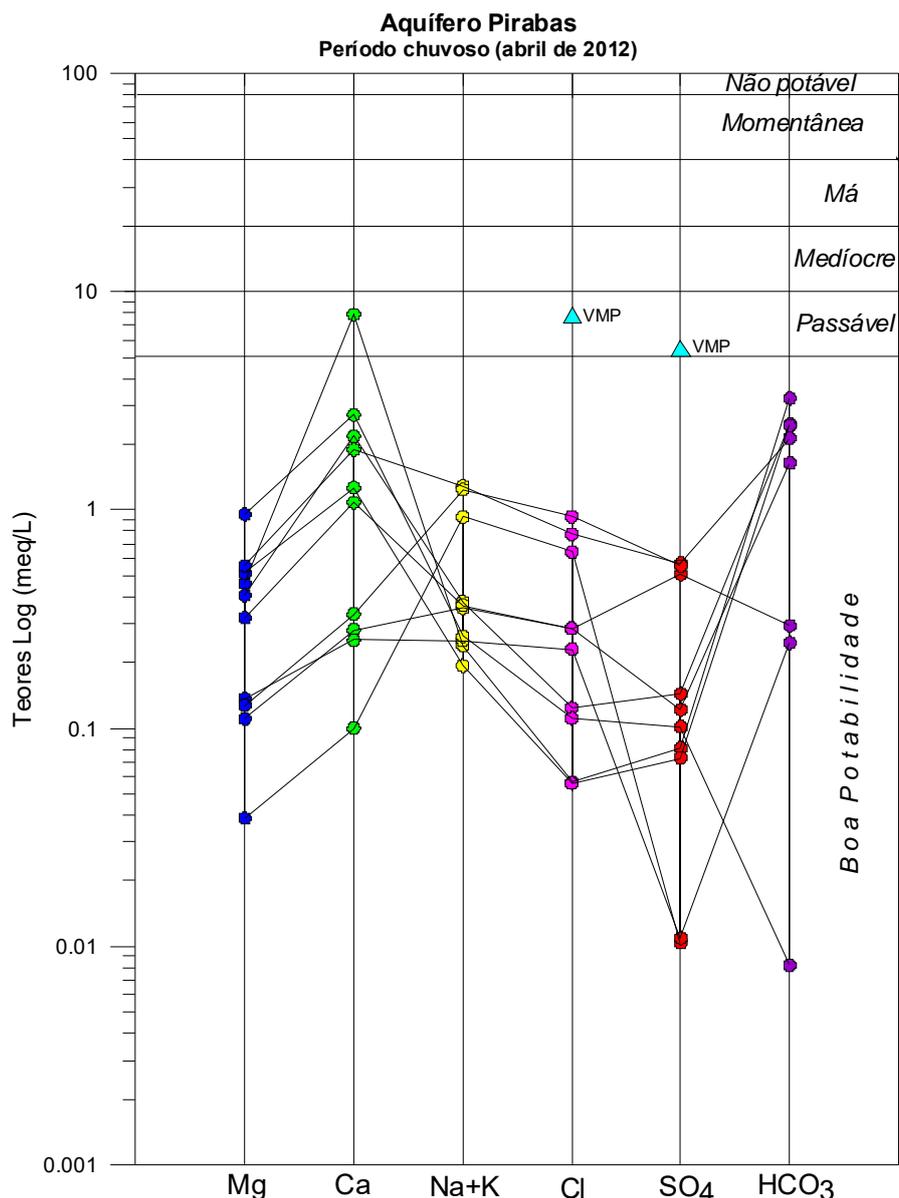


Figura 6.11 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Pirabas no período chuvoso (abril de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

Na segunda campanha, verifica-se que a potabilidade se classifica como boa. Além disso, é possível notar que os parâmetros cloreto e sulfato estão abaixo

do VMP recomendado pela Portaria MS 2914/2011 em ambas as coletas de amostragem.

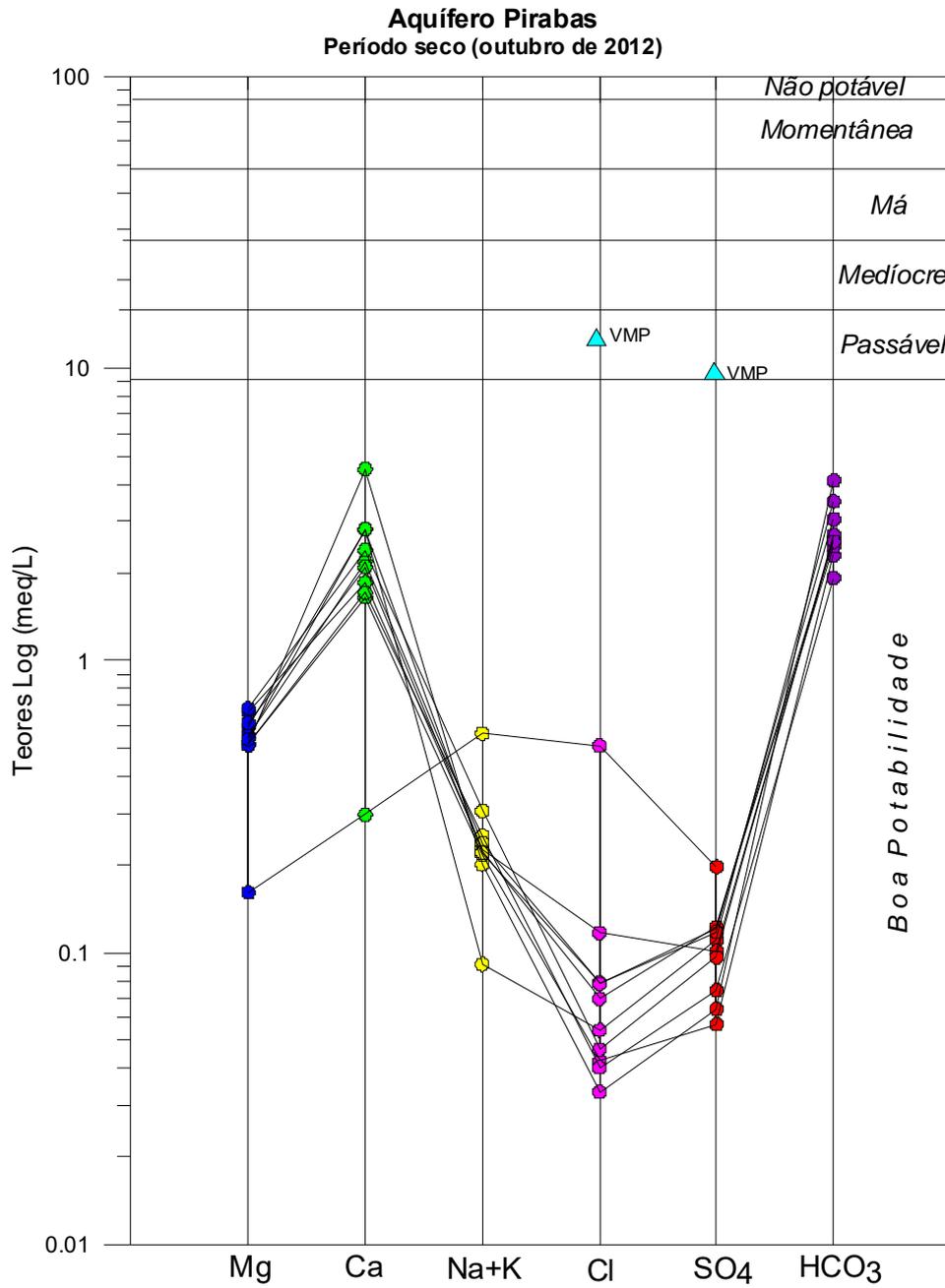


Figura 6.12 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Pirabas no período de estiagem (outubro de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

6.7.16.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação

Para a avaliação das águas do aquífero Pirabas quanto ao uso na irrigação foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

Período chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que as amostras coletadas no aquífero Pirabas (abril de 2012) apresentaram risco de sódio baixo em 100% dos casos, ou seja, classificação S1, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais (figura 6.13).

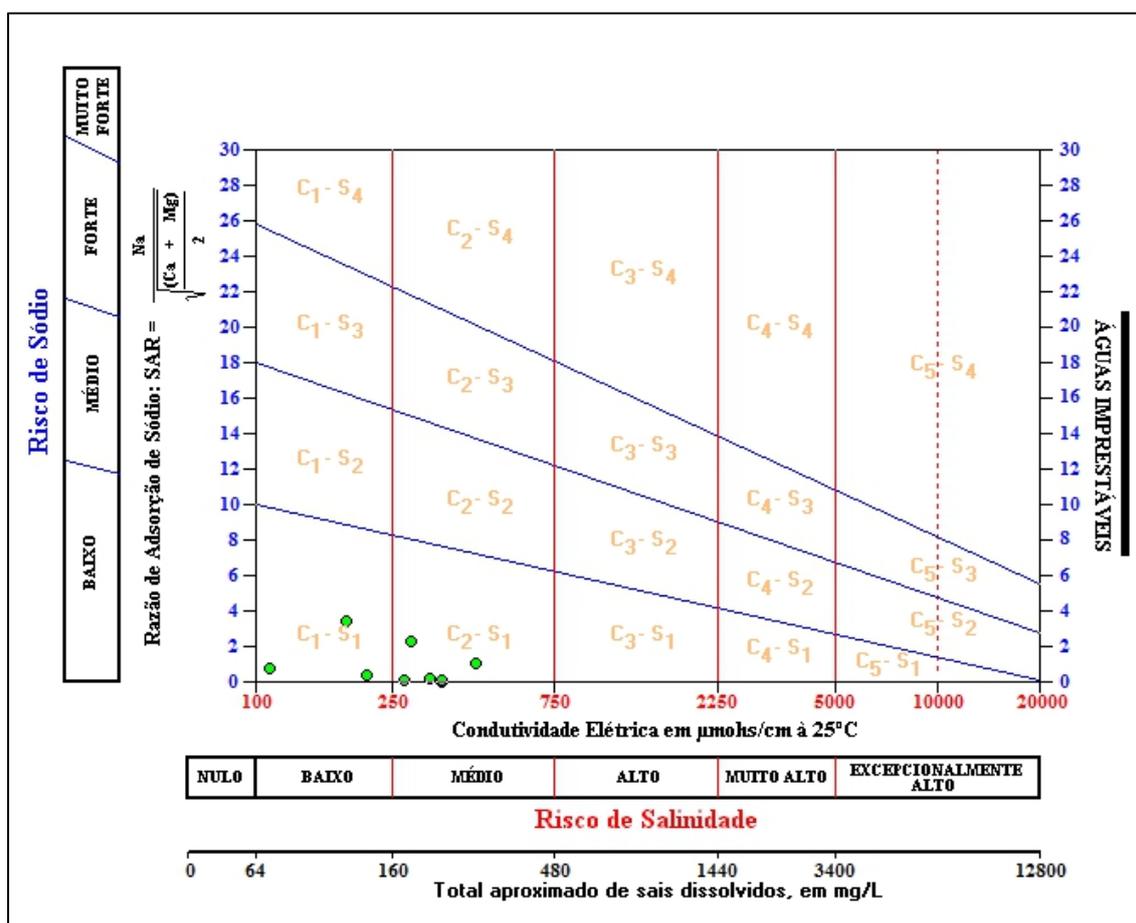


Figura 6.13 – Classificação das águas do aquífero Pirabas para fins de irrigação – abril de 2012.

Quanto à salinidade, as amostras de abril de 2012 apresentaram em 10% (1/10) dos casos a classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; 30% (3/10) com classificação C₁, indicativa de águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo

for extremamente fraca; ao passo que 60% (6/10) apresentaram classificação C₂, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo (figura 6.13).

Período de estiagem

Os resultados das amostras coletadas no aquífero Pirabas em outubro de 2012 revelaram que em 100% dos casos, as águas apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S₁, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais (figura 6.14).

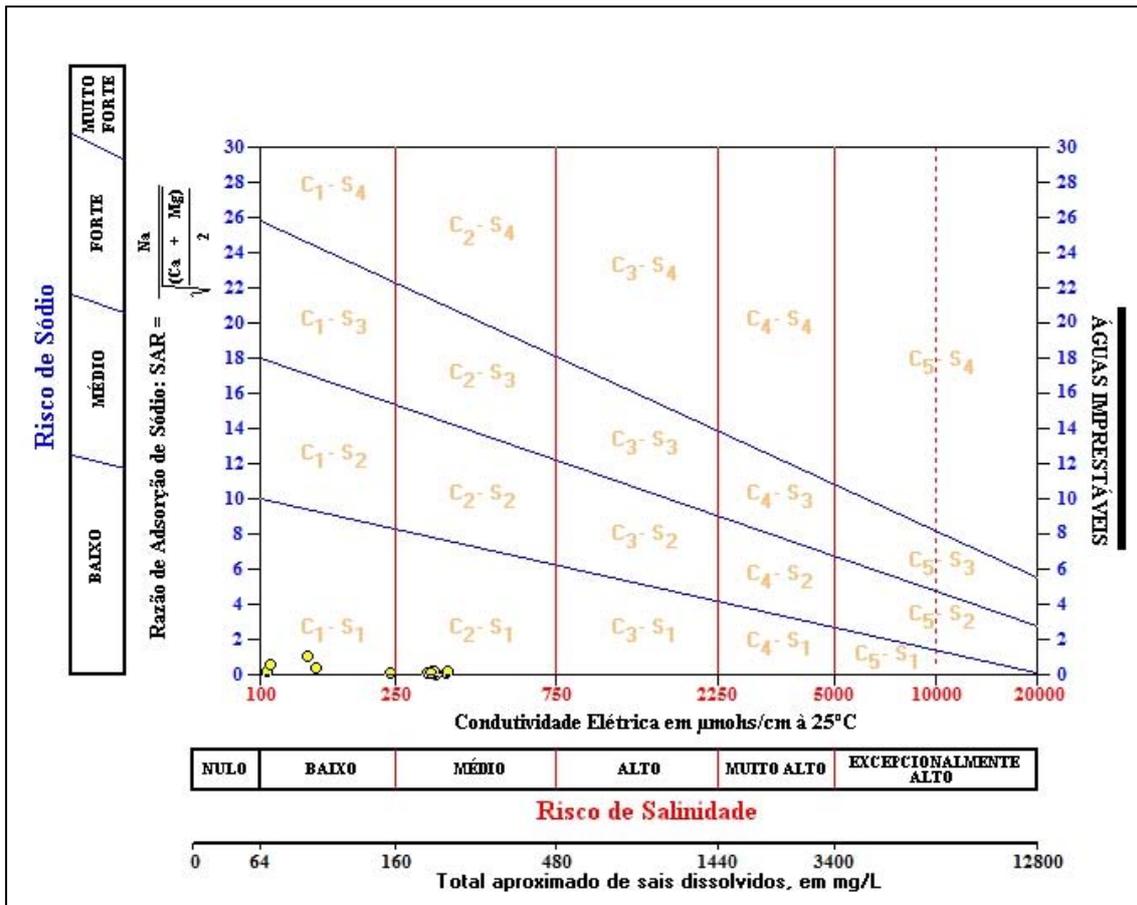


Figura 6.14 – Classificação das águas do aquífero Pirabas para fins de irrigação – outubro de 2012.

Com relação à salinidade, as amostras de outubro de 2012 apresentaram em 20% (2/10) dos casos a classificação C₁, ou seja, águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas; e 80% restantes (8/10) classificação C₂, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução (figura 6.14).

De modo geral, verifica-se que a maioria das amostras nas duas campanhas de amostragem apresentaram águas com salidade média, as quais não são propícias para fins de irrigação, pois podem ocasionar a salinização do solo (tabela 6.36).

Tabela 6.36 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.

Nome	Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
	Classe USSL	Risco		Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio		Salinidade	Sódio
BEL003	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL004	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL005	C2-S1	Médio	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BEL020	C1-S1	Baixo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL021	C1-S1	Baixo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL022	C0-S1	Nulo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
BEL024	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL026	C1-S1	Baixo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL029	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
BEL030	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo

Legenda:

Poços destacados em vermelho possuem salinidade média, de acordo com a classificação do USSL.

6.7.16.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas em 10 (dez) poços no aquífero Pirabas nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 6.37**.

Tabela 6.37 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 307 e 246 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

6.7.17 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Pirabas

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Pirabas indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, e que alguns poucos valores extremos encontrados, inclusive acima do VMP estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011, assim como os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 se devem

em grande parte a fatores antrópicos, exceto no caso dos parâmetros ferro, manganês e cálcio, os quais se apresentaram elevados devido à condição geológica local.

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos coletados em duas campanhas de amostragem, realizadas em abril e outubro de 2012, revelou efeito de sazonalidade sobre alguns parâmetros, tais como, turbidez, Eh, sódio, potássio, cloreto, sulfato, nitrato e amônia, cujos teores foram mais elevados no período chuvoso; enquanto que os parâmetros CE, STD, cálcio, magnésio, bicarbonato, dureza, ferro e manganês são mais elevados no período de estiagem.

Esse quadro sugere que as águas do aquífero Pirabas sofrem, por filtração vertical descendente, mistura com águas oriundas dos aquíferos sobrepostos. Considerando que o sistema aquífero é do tipo livre, essa mistura, induzida pelos bombeamentos, não somente pode ocorrer fora dos poços quanto dentro dos mesmos, através dos espaços anelares, sobretudo no caso de poços mal construídos. Também no período chuvoso as diferenças de cargas hidráulicas entre o aquífero Pirabas e os aquíferos sobrepostos (Barreiras e Pós-Barreiras) são maiores, o que implica em maior filtração vertical descendente.

Parece haver dois comportamentos hidrogeoquímicos distintos no aquífero Pirabas de acordo com a sazonalidade:

- No período chuvoso a influência antrópica é maior por conta da mistura de águas do Pirabas com águas provenientes dos aquíferos sobrepostos e aflorantes (Barreiras e Pós-Barreiras). Neste período a maior contribuição (ou contaminação) é causada por parâmetros como nitrato, cloreto, turbidez, sódio e amônia, todos oriundos de águas dos mencionados aquíferos sobrepostos e aflorantes;
- No período seco as diferenças de carga hidráulica do aquífero Pirabas em relação à superfície livre das águas subterrâneas se reduzem e disso resulta menor contribuição do fluxo descendente, ou seja, há um menor aporte de águas dos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras e o comportamento das águas carbononáticas do aquífero Pirabas se torna predominante. Assim, neste período as águas analisadas apresentam maiores teores de CE, STD, cálcio, pH, magnésio, bicarbonato e dureza.

De acordo com os dados, alguns parâmetros não apresentaram influência da sazonalidade, pois os resultados das duas campanhas de amostragem apresentaram em sua maioria teores abaixo do limite de detecção, a exemplo da cor e nitrito; ou valores muito próximos, como na temperatura.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença de Coliformes totais em ambas as campanhas, e de *E. Coli* na segunda campanha, o que é proveniente da falta de saneamento básico. A ocorrência desses parâmetros biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica na população local, que utiliza dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Segundo Picanço *et al.* (2002), apesar da Formação Pirabas ser uma unidade menos favorável à liberação de ferro, uma vez que é constituída basicamente por calcários puros e diversificados, existe nessa formação a ocorrência de nontronita, esmectita rica em ferro, assim como de pirita (sulfeto de ferro). Essa

composição do aquífero Pirabas explica a presença de altos teores na maioria das amostras de água coletadas na segunda campanha de amostragem.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que em ambos os períodos as águas subterrâneas do aquífero Pirabas se caracterizam como levemente ácidas a neutras, pois a sua litologia carbonática faz com que as águas sejam menos ácidas quando comparadas a outros aquíferos da região.

Os resultados de isótopos ambientais revelaram que não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem a 1 (um) único ponto de amostragem, não sendo, portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**.

Segundo as datações efetuadas com Trício, as águas do aquífero Pirabas têm água submoderna com recarga anterior a 1952.

A datação radiométrica de carbono-14 revelou a presença de paleoáguas, com tempo de residência superior a 20.000 anos, o que sugere a existência de águas mais antigas armazenadas em profundidade no aquífero Pirabas.

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas do aquífero Pirabas em sua maioria são Bicarbonatadas Cálcicas, segundo indicação dos diagramas de Piper e Stiff; e de potabilidade boa e passável, de acordo com os diagramas de Schoeller-Berkaloff.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação, verifica-se que as águas do aquífero Pirabas possuem risco de sódio baixo e salinidade entre fraquíssima a média, indicando que as águas devem ser usadas com cuidado para a irrigação, pois a maioria das amostras apresentou salinidade média.

As águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixos.

7 – Hidrogeoquímica do Aquífero Monte Alegre

7.1 - Introdução

No contexto regional, o aquífero Monte Alegre está localizado na Província Amazonas, que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003). No contexto local, o aquífero Monte Alegre está situado na Bacia do Amazonas.

A Bacia do Amazonas é uma bacia intracratônica com cerca de 500.000 km², abrangendo parte dos estados do Amazonas e Pará, entre os escudos pré-cambrianos das Guianas (ao Norte) e Brasileiro (ao Sul). Está separada das bacias do Solimões e Marajó pelos arcos de Purus e Gurupá, respectivamente (Santos *et al.*, 2011).

Com base no empilhamento estratigráfico proposto por Caputo (1984) e por Cunha *et al.* (1994), as formações paleozoicas da Bacia do Amazonas incluem seguintes Grupos: Grupo Trombetas, Grupo Iracema, Grupo Urupadi, Grupo Curuá e Grupo Tapajós. Esse último grupo, o Tapajós, contém as formações Monte Alegre, na base, que constitui um aquífero, recoberto pelos aquíferos Itaituba e Nova Olinda, sendo que na base deste último ocorrem arenitos compactos que se apresentam como aquífero nas reduzidas áreas onde afloram.

O Aquífero Monte Alegre, tanto em afloramento (0,09% da PHA) quanto em subsuperfície (99,9% da PHA no Brasil), segundo a carta cronoestratigráfica da Bacia do Amazonas (Volume II), tem espessura máxima de 140 m e jaz em discordância sobre as unidades siliciclásticas do Mississipiano. Sua litologia consiste de uma extensa sequência de arenitos fluviais e eólicos, intercalados com siltitos e folhelhos de interdunas e lagos, e carbonatos em direção ao topo da seção, os quais vêm sendo considerados como marcadores das primeiras ingressões marinhas no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas (Scomazzon, 2004).

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre, apenas na sua pequena área de ocorrência (1.725 km² ou 0,09% da PHA no Brasil) onde aflora o paleozoico, precisamente na cidade de Itaituba – PA, foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 12.8**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Monte Alegre, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

Laboratório da Bioagri Ambiental:

- 01 (uma) Análise Físico-Química e Bacteriológica - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sulfato,

Eh, bicarbonato, nitrogênio (amoniaco, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*).

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 12.5**.

O aquífero Monte Alegre só possui 1 (um) ponto de amostragem e desse modo não foi possível efetuar estatística descritiva e nem realizar distribuição de probabilidade por meio de modelagem geoestatística para definir se há ou não influência da sazonalidade para o parâmetro físico-químico analisado.

7.2 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquífero Monte Alegre foram submetidos a avaliações pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

De acordo com os resultados obtidos nas duas campanhas de amostragem verifica-se que, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), a amostra coletada no aquífero Monte Alegre apresentou Ep dentro dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1 e nº 2 (**tabela 7.1**).

Tabela 7.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Monte Alegre – abril e outubro de 2012.

Poço	Período chuvoso (abril de 2012)					Período seco (outubro de 2012)				
	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)		CE ($\mu\text{S/cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
ITB005	106	0,77	0,9	14,87	7,44	628	4,42	4,38	1,12	0,56

7.3 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Monte Alegre foi estimado conforme metodologia descrita no **item 1.8**.

De acordo com os dados da **tabela 7.2**, verifica-se que no período chuvoso o ITB calculado forneceu valor negativo, enquanto que no período seco o ITB apresentou valor positivo. Tais dados sugerem que no período chuvoso há maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que indica o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ ; enquanto que no período seco esse processo se inverte.

Tabela 7.2 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no Aquífero Monte Alegre nas duas campanhas.

Poço	ITB - abril de 2012 (meq/L)	ITB - outubro de 2012 (meq/L)
ITB005	-1,02	0,03

Os resultados de ITB negativos no período chuvoso e positivo no período seco são justificáveis pelo comportamento hidrogeoquímico do aquífero Monte Alegre que é análogo ao comportamento do aquífero Pirabas, sendo marcado

pela ocorrência de filtrações verticais descendentes (drenança) do aquífero Itaituba e das coberturas aluviais superpostas, especialmente no período chuvoso; enquanto que no período seco a drenança se reduz, assim como a influência antrópica. Assim sendo predomina o comportamento das águas carbonáticas, sobretudo do aquífero Itaituba, com maiores teores de CE, STD, cálcio, magnésio, bicarbonato e dureza, além de pH altamente básico.

7.4 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Monte Alegre nas duas campanhas de amostragem, de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A **tabela 7.3** mostra os resultados das principais razões iônicas para as duas campanhas, realizadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

A razão rMg^{2+}/rCa^{2+} não é conclusiva no período chuvoso, enquanto que no período seco indica que o poço tem água continental, pois a redução da drenança nesse período condiciona o predomínio de águas carbonáticas principalmente do aquífero Itaituba, pois o Aquífero Monte Alegre é predominante constituído de arenitos.

A razão rNa^+/rCl^- sugere que nas duas campanhas de amostragem, o poço tem águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas.

A razão iônica $rCl^-/rHCO_3^-$ não foi conclusiva nas duas campanhas de amostragem.

Tabela 7.3 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no Aquífero Monte Alegre nas duas campanhas.

Poço	Razões Iônicas - Período chuvoso			Razões Iônicas - Período seco		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
ITB005	0,21	1,71	0,68	0,98	0,94	1,42

7.5 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Monte Alegre nas duas campanhas de amostragem para verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS, apresentada na **tabela 1.6**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Monte Alegre, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), podem ser observados na **tabela 7.4**.

Tabela 7.4 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para o aquífero Monte Alegre, nas duas campanhas de amostragem.

Poço	IS - 1 (Abril de 2012)	IS - 2 (Outubro de 2012)
ITB005	-2,05	1,85

Na primeira coleta, o IS calculado foi negativo, indicando que as águas não possuem características incrustantes. Isto ocorre porque as águas do aquífero Monte Alegre são mais ácidas no período chuvoso, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

Na segunda coleta, o IS obtido foi positivo, o que sugere que as águas possuem características incrustantes. Isto ocorre, pois no período de estiagem os teores de dureza são mais elevados, pois segundo Scomazzon (2004), os depósitos da formação Monte Alegre são caracterizados por uma extensa sequência de arenitos fluviais e eólicos, intercalados com siltitos e folhelhos de interdunas e lagos, e carbonatos em direção ao topo da seção, os quais vêm sendo considerados como marcadores das primeiras ingressões marinhas no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas.

7.6 – Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Monte Alegre

7.6.1 – Cor

Os resultados de cor obtidos no aquífero Monte Alegre podem ser observados na **tabela 7.5**. Na primeira campanha, a amostra apresentou valor de cor < 5, ou seja, inferior ao LD (limite de detecção) de 5 uH. Na segunda campanha, o poço apresentou valor de cor igual a 15 uH.

Nas duas campanhas de amostragem, os teores de cor não ultrapassam o VMP da Portaria MS 2914/2011 descrito no **item 2.1**.

Tabela 7.5 – Valores de Cor obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Cor (uH) - Abril de 2012	Cor (uH) - Outubro de 2012
ITB005	4,9	15

7.6.2 – Turbidez

Na primeira campanha, a amostra apresentou valor de turbidez igual a 1,2 uT, enquanto que na segunda coleta, o valor de turbidez obtido no aquífero Monte Alegre foi abaixo do limite de detecção de 0,1 uT (**tabela 7.6**).

Em ambas as campanhas de amostragem, o poço apresentou valor de turbidez dentro dos padrões de potabilidade da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.2**).

Tabela 7.6 – Valores de Turbidez obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Turbidez (uT) - Abril de 2012	Turbidez (uT) - Outubro de 2012
ITB005	1,2	0,09

O valor de turbidez foi mais alto no período chuvoso, provavelmente, pelo fato de que nesse período as águas são mais ricas em sedimentos em suspensão.

7.6.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) do aquífero Monte Alegre (**tabela 7.7**) foi igual a 106 μ S/cm no período chuvoso e igual a 628 μ S/cm no período de estiagem.

Os valores de CE diferentes nas duas campanhas de amostragem são justificáveis, pois segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica depende da

composição iônica dos corpos d'água e pode ser influenciado também pelo volume de chuvas, o que é bastante frequente na região estudada.

Tabela 7.7 – Valores de Condutividade Elétrica (CE) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	CE ($\mu\text{S/cm}$) - Abril de 2012	CE ($\mu\text{S/cm}$) - Outubro de 2012
ITB005	106	628

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2 $\mu\text{S/cm}$; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500 $\mu\text{S/cm}$; e água poluída, quando a CE é > 10.000 $\mu\text{S/cm}$. Nesse caso, as águas do aquífero Monte Alegre, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potáveis.

Segundo Custodio & Llamas (1983), a condutividade elétrica da água constitui um parâmetro físico que corresponde à quantidade de íons dissolvidos em seu meio e varia com a temperatura, mobilidade e valência dos íons presentes. Este parâmetro está intrinsecamente correlacionado à geologia de cada localidade, ou seja, o arcabouço de rochas, minerais e sedimentos que constituem uma determinada região, os quais influenciarão diretamente os íons que vão compor as águas superficiais e subterrâneas.

O elevado valor de CE na segunda campanha de amostragem se deve a presença de maiores teores de cálcio e magnésio no período de estiagem, condicionados pela redução da drenança nesse período, no qual predomina a influência, sobretudo, dos carbonatos do aquitardo Itaituba sobrepostos ao Aquífero Monte Alegre, na zona do paleozoico aflorante.

7.6.4 – Temperatura

A temperatura da água subterrânea no aquífero Monte Alegre no período chuvoso foi igual a 28,5°C e no período seco foi de 28,6°C (**tabela 7.8**). As temperaturas nas duas campanhas de amostragem são quase iguais e possivelmente decorrem da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas.

Tabela 7.8 – Valores de Temperatura obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	T (°C) - Abril de 2012	T (°C) - Outubro de 2012
ITB005	28,5	28,6

7.6.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre variaram de 92 mg/L no período chuvoso a 402 mg/L no período seco (**tabela 7.9**).

Os valores de STD impetrados nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011 e da Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.5**), que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano.

Tabela 7.9 – Valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	STD (mg/L) - Abril de 2012	STD (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	92	402

O valor de STD obtido nas águas do aquífero Monte Alegre na sua área de afloramento (1.725 km²) é significativamente mais alto no período seco, o que pode ser justificado pela redução da drenança oriunda das partes superiores. Isto reduz a mistura de águas subterrâneas e condiciona maior concentração de íons das litologias carbonáticas presentes, sobretudo, do aquífero Itaituba sobreposto ao Aquífero Monte Alegre.

7.6.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

De acordo com os dados apresentados na **tabela 7.10**, as águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre possuem pH *in situ* de 6,4 no período chuvoso e de 8,8 no período seco.

Tabela 7.10 – Valores de pH *in situ* (pH) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	pH - Abril de 2012	pH - Outubro de 2012
ITB005	6,4	8,8

Os resultados mostram que na primeira campanha, as águas do aquífero Monte Alegre são levemente ácidas quando comparadas aos dados do período seco, onde as águas são alcalinas.

Isto pode ser justificado pela redução da drenança oriunda das partes superiores, o que reduz a mistura de águas subterrâneas e condiciona maior concentração de íons das litologias carbonáticas presentes no período seco, sobretudo, do aquífero Itaituba, sobreposto ao Aquífero Monte Alegre.

7.6.7 – Potencial Redox (Eh)

Os dados de Eh no aquífero Monte Alegre (**tabela 7.11**) mostram que no período chuvoso o valor foi igual a 30 mV, enquanto que no período seco foi de 509 mV. Nas duas campanhas de amostragem os valores de Eh foram positivos, o que sugere que as águas do aquífero Monte Alegre se encontram em condições oxidantes.

Tabela 7.11 – Valores de Potencial Redox (Eh) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Eh (mV) - Abril de 2012	Eh (mV) - Outubro de 2012
ITB005	30	509

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras.

7.6.8 – Cátions

7.6.8.1 – Sódio

A **tabela 7.12** indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Monte Alegre variaram de 8,8 mg/L no período chuvoso a 53,1 mg/L no período de estiagem.

Tabela 7.12 – Valores de Sódio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Sódio (mg/L) - Abril de 2012	Sódio (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	8,8	53,1

Em ambas as campanhas, as amostras apresentaram teores de sódio abaixo do limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, assim como dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.8.1**), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação.

O teor de sódio mais elevado no período de estiagem é justificável, pois nessa época ocorre menor contribuição antrópica devido à minimização da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais, o que propicia a maior concentração de íons de sódio provenientes da halita (NaCl), presente na formação Monte Alegre.

7.6.8.2 – Potássio

A **tabela 7.13** mostra que os teores de potássio no aquífero Monte Alegre foi de 2,65 mg/L no período chuvoso e de 3,4 mg/L no período de estiagem.

Tabela 7.13 – Valores de Potássio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Potássio (mg/L) - Abril de 2012	Potássio (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	2,65	3,4

Segundo Pereira *et al.* (2008), o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais.

7.6.8.3 – Cálcio

No período chuvoso, o teor de cálcio no aquífero Monte Alegre foi igual a 5,35 mg/L; enquanto que no período de estiagem foi de 20,48 mg/L, como pode ser observado na **tabela 7.14**.

Tabela 7.14 – Valores de Cálcio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Cálcio (mg/L) - Abril de 2012	Cálcio (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	5,35	20,48

O teor de cálcio mais elevado no período seco pode ser justificado pela redução da drenança oriunda das partes superiores, o que reduz a mistura de águas subterrâneas e condiciona maior concentração de íons das litologias carbonáticas presentes, sobretudo, do aquífero Itaituba, sobreposto ao Aquífero Monte Alegre.

7.6.8.4 – Magnésio

O teor de magnésio coletado nas águas do aquífero Monte Alegre no período chuvoso foi de 0,67 mg/L, enquanto que no período seco foi de 12,21 mg/L (**tabela 7.15**).

Tabela 7.15 – Valores de Magnésio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Magnésio (mg/L) - Abril de 2012	Magnésio (mg/L) – Outubro de 2012
ITB005	0,67	12,21

Os teor de magnésio mais elevado no período de estiagem é justificável, pois nessa época ocorre menor contribuição antrópica devido à minimização da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais, o que propicia a maior concentração de íons das litologias carbonáticas presentes, sobretudo, do aquífero Itaituba, sobreposto ao Aquífero Monte Alegre.

7.6.9 – Ânions

7.6.9.1 – Cloreto

A **tabela 7.16** mostra que os teores de cloreto nas águas do aquífero Monte Alegre variaram de 7,91 mg/L no período chuvoso a 87,5 mg/L no período de estiagem.

Tabela 7.16 – Valores de Cloreto obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Cloreto (mg/L) - Abril de 2012	Cloreto (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	7,91	87,5

Nas duas campanhas de amostragem os teores de cloreto obtidos foram inferiores ao VMP estabelecido pelo Portaria MS 2914/2011, e se mantiveram dentro dos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.9.1**), sugerindo que as águas do aquífero Monte Alegre podem ser usadas para consumo humano, irrigação e recreação.

De acordo com Pohling (2009), quando o teor de cloreto está elevado na água e não há influência de fatores geológicos, essa contaminação pode ser proveniente de efluentes domésticos ou industriais.

O teor de cloreto mais elevado no período de estiagem é justificável, pois nessa época ocorre menor contribuição antrópica devido à minimização da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais, o que propicia a maior concentração de íons de cloreto provenientes da halita (NaCl), presente na formação Monte Alegre.

7.6.9.2 – Sulfato

No período chuvoso (abril de 2012), o teor de sulfato nas águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre foi de 16,58 mg/L, enquanto que no período seco (outubro de 2012) foi de 8,14 mg/L (**tabela 7.17**).

Tabela 7.17 – Valores de Sulfato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Sulfato (mg/L) - Abril de 2012	Sulfato (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	16,58	8,14

Nas duas campanhas de amostragem os teores de sulfato encontrados estiveram abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas do aquífero Monte Alegre podem ser usadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação, bem como dentro dos padrões organoléptico de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.9.2**).

O valor de sulfato mais elevado no período chuvoso é justificável, pois nessa época ocorre maior contribuição antrópica devido à infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais, o que propicia a maior concentração de elementos poluentes, como por exemplo, o sulfato que provavelmente se deve a proximidade dos poços com as fossas sanitárias, o que favorece a infiltração do esgoto *in natura* e conseqüentemente a contaminação das águas subterrâneas.

Fazzio *et al.* (2009) descrevem que o crescente aumento da população urbana tem ocasionado um somatório de contaminantes lançados nas águas subterrâneas, oriundos das mais diversas fontes, relacionadas com o espaço urbano, tais como, fossas sépticas, cemitérios, vazamentos em postos de combustível, lixões, agrotóxicos, poços profundos mal instalados ou abandonados, lançamento de resíduos domésticos e industriais, dentre outros.

7.6.9.3 – Bicarbonato

Na primeira campanha, o teor de bicarbonato foi igual a 20 mg/L e na segunda campanha foi de 106 mg/L (**tabela 7.18**).

O bicarbonato não possui VMP definido para o consumo humano, conforme descrito no **item 2.9.3**.

Tabela 7.18 – Valores de Bicarbonato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Bicarbonato (mg/L) - Abril de 2012	Bicarbonato (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	20	106

O teor de bicarbonato mais elevado no período seco pode ser justificado pela redução da drenança oriunda das partes superiores, o que reduz a mistura de águas subterrâneas e condiciona maior concentração de íons das litologias carbonáticas presentes, sobretudo, do aquífero Itaituba, sobreposto ao Aquífero Monte Alegre.

7.6.10 – Dureza

A **tabela 7.19** mostra que a dureza das águas do aquífero Monte Alegre no período chuvoso foi de 16,11 mg/L e no período de estiagem foi igual a 101,25 mg/L.

Tabela 7.19 – Valores de Dureza obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Dureza (mg/L) - Abril de 2012	Dureza (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	16,11	101,25

Segundo a classificação de Von Sperling (2005), descrita no **item 2.10**, as águas do aquífero Monte Alegre no período chuvoso são do tipo mole e no período de estiagem são do tipo moderada.

Nas duas campanhas, nenhuma das amostras ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO₃ (**item 2.10**).

O teor de dureza mais elevado no período seco pode ser justificado pela redução da drenança oriunda das partes superiores, o que reduz a mistura de águas subterrâneas e condiciona maior concentração de íons das litologias carbonáticas presentes, sobretudo, do aquífero Itaituba, sobreposto ao Aquífero Monte Alegre.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2002), a água subterrânea é geralmente de boa qualidade, porém em alguns casos pode conter alta concentração de sais, entre eles os de cálcio e de magnésio, por estar intimamente em contato com materiais solúveis do solo e das rochas, no seu entorno e em áreas de recarga, e assim, apresentar elevado teor de dureza.

Outro fator que também pode contribuir para a elevação dos teores de dureza é a geologia do aquífero Monte Alegre, pois segundo Scomazzon (2004) seus depósitos são caracterizados por uma extensa sequência de arenitos fluviais e eólicos, intercalados com siltitos e folhelhos de interdunas e lagos, e carbonatos em direção ao topo da seção, os quais vêm sendo considerados como marcadores das primeiras ingressões marinhas no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas.

7.6.11 – Compostos Nitrogenados

7.6.11.1 - Nitrato

A **tabela 7.20** mostra os teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, a concentração de nitrato foi igual a 1,53 mg/L, enquanto que no período seco foi de 0,09 mg/L, ou seja, abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L.

Tabela 7.20 – Valores de Nitrato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Nitrato (mg/L) - Abril de 2012	Nitrato (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	1,53	0,09

Nenhuma das amostras analisadas nas duas campanhas ultrapassou o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.11**), assim como estiveram dentro dos padrões indicados para consumo humano, dessedentação animal e recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.11**).

O valor de nitrato mais elevado no período chuvoso é justificável, pois nessa época ocorre maior contribuição antrópica devido a infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais, o que propicia a maior concentração de elementos poluentes, como por exemplo o nitrato, que provavelmente se deve a proximidade dos poços com as fossas sanitárias, o que favorece a infiltração do esgoto *in natura* e conseqüentemente a contaminação das águas subterrâneas.

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo

em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato, que possui grande mobilidade no solo alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando. O nitrato por possuir essas características se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

7.6.11.2 - Nitrito

Na **tabela 7.21** verifica-se que os teores de nitrito obtidos no aquífero Monte Alegre nas duas campanhas de amostragem estão abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L.

Tabela 7.21 – Valores de Nitrito obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Nitrito (mg/L) - Abril de 2012	Nitrito (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	0,019	0,019

Em ambas as campanhas, as amostras analisadas apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, assim como poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, em relação a esse parâmetro (**item 2.11**).

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do Aquífero Monte Alegre são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlf (2010), nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores geralmente abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

7.6.11.3 - Amônia

Na primeira campanha, o teor de amônia foi igual a 0,67 mg/L, enquanto que na segunda campanha foi de 0,5 mg/L (**tabela 7.22**).

Tabela 7.22 – Valores de Amônia obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Amônia (mg/L) - Abril de 2012	Amônia (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	0,67	0,5

Nas duas campanhas de amostragem, os teores de amônia encontrados estão abaixo do VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L (**item 2.11**).

O valor de amônia mais elevado no período chuvoso é justificável, pois nessa época ocorre maior contribuição antrópica devido à infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais, o que propicia a maior concentração de elementos poluentes, como por exemplo a amônia, que provavelmente se deve a proximidade dos poços com as fossas sanitárias, o que favorece a infiltração do esgoto *in natura* e conseqüentemente a contaminação das águas subterrâneas.

De acordo com Alaburda & Nishihara (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido a sua fácil adsorção por partículas do solo ou a oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

7.6.12 – Ferro e Manganês

7.6.12.1 – Ferro

O teor de ferro nas águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre no período chuvoso foi de 0,1926 mg/L; enquanto que no período seco foi de 0,0135 mg/L (**tabela 7.23**).

Tabela 7.23 – Valores de Ferro obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Ferro (mg/L) - Abril de 2012	Ferro (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	0,1926	0,0135

Os valores de ferro obtidos nas duas campanhas de amostragem não ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, assim como se mantiveram dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, sugerindo que as águas do aquífero Monte Alegre podem ser usadas para consumo humano, irrigação e recreação (**item 2.12**).

No período chuvoso, os teores de ferro foram mais elevados, o que se deve provavelmente a maior contribuição antrópica devido à infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais, sobrepostos ao Aquífero Monte Alegre.

7.6.12.2 – Manganês

A concentração de manganês nas águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre no período chuvoso foi igual a 0,018 mg/L, enquanto que no período seco foi de 0,004 (**tabela 7.24**).

Tabela 7.24 – Valores de Manganês obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Monte Alegre.

Poço	Manganês (mg/L) - Abril de 2012	Manganês (mg/L) - Outubro de 2012
ITB005	0,018	0,004

Nas duas campanhas de amostragem, os teores de manganês permaneceram abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano, bem como estiveram dentro dos limites previstos na Resolução CONAMA 396/2008, no que se refere aos usos da água para consumo humano, dessedentação animal, irrigação e recreação (**item 2.12**).

No período chuvoso, o teor de manganês foi mais elevado, o que se deve provavelmente a maior contribuição antrópica devido à infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais, sobrepostos ao Aquífero Monte Alegre.

Os resultados obtidos no aquífero Monte Alegre são coerentes, pois de acordo Parron *et al.* (2011), o ferro e o manganês são elementos que apresentam

comportamento químico muito parecido na natureza e em virtude de afinidades geoquímicas quase sempre ocorrem juntos.

7.6.13 – Parâmetros Biológicos

Coliformes Totais

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

Nas duas campanhas de amostragem foi observado a presença de coliformes totais, indicando que as águas estão fora dos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011 e, portanto, não podem ser usadas para consumo humano.

A presença de C. totais em ambas as campanhas no aquífero Monte Alegre é justificável devido à infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Monte Alegre, os quais são muito susceptíveis a contaminações locais, principalmente de ordem antrópica, como é o caso da infiltração do esgoto *in natura* devido à proximidade dos poços com as fossas sépticas.

Segundo Zoby (2008), a falta de saneamento é extremamente preocupante, pois representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

Escherichia Coli

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Monte Alegre apresentaram a presença de *E. coli* e, portanto, fora dos padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, e dos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**); enquanto que no período de estiagem não houve presença de *E. coli*.

A presença de *E. coli* no período chuvoso no aquífero Monte Alegre é justificável devido à infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Monte Alegre, os quais são muito susceptíveis a contaminações locais, principalmente de ordem antrópica, como é o caso da

infiltração do esgoto *in natura* devido à proximidade dos poços com as fossas sépticas.

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo da falta de manutenção do reservatório, localização inadequada do poço e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

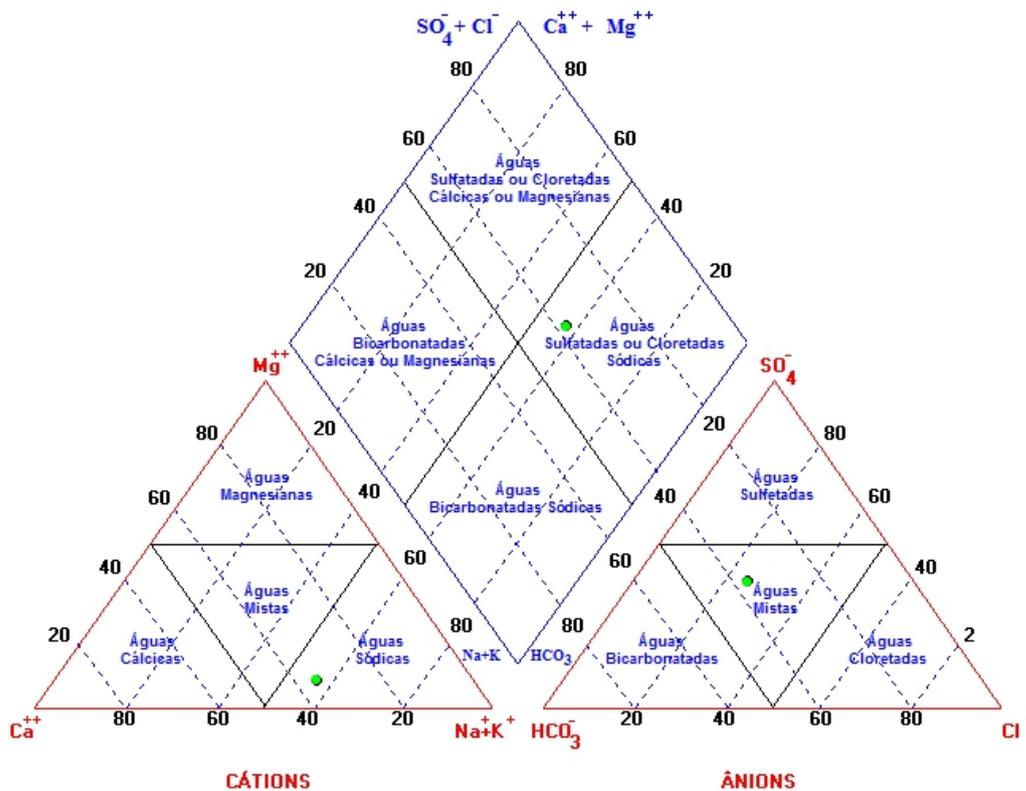
7.6.14 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Monte Alegre Segundo a Composição Química

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre, com base nos dados coletados em duas campanhas de amostragem: no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (outubro de 2012).

7.6.14.1 – Diagrama Triangular de Piper

Período chuvoso

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 7.1**, é possível identificar que as águas do aquífero Monte Alegre no período chuvoso (abril de 2012), no que se refere aos ânions são mistas, e no que concerne a presença de cátions, são sódicas.



Aquífero Monte Alegre - Período chuvoso (abril de 2012)

Figura 7.1 – Classificação das águas do aquífero Monte Alegre no período chuvoso (abril de 2012), segundo o diagrama Triangular de Piper.

Período de estiagem

De acordo com a **figura 7.2** verifica-se que as águas do aquífero Monte Alegre no período seco (outubro de 2012), quanto à presença de ânions são cloretadas, e com relação aos cátions são sódicas.

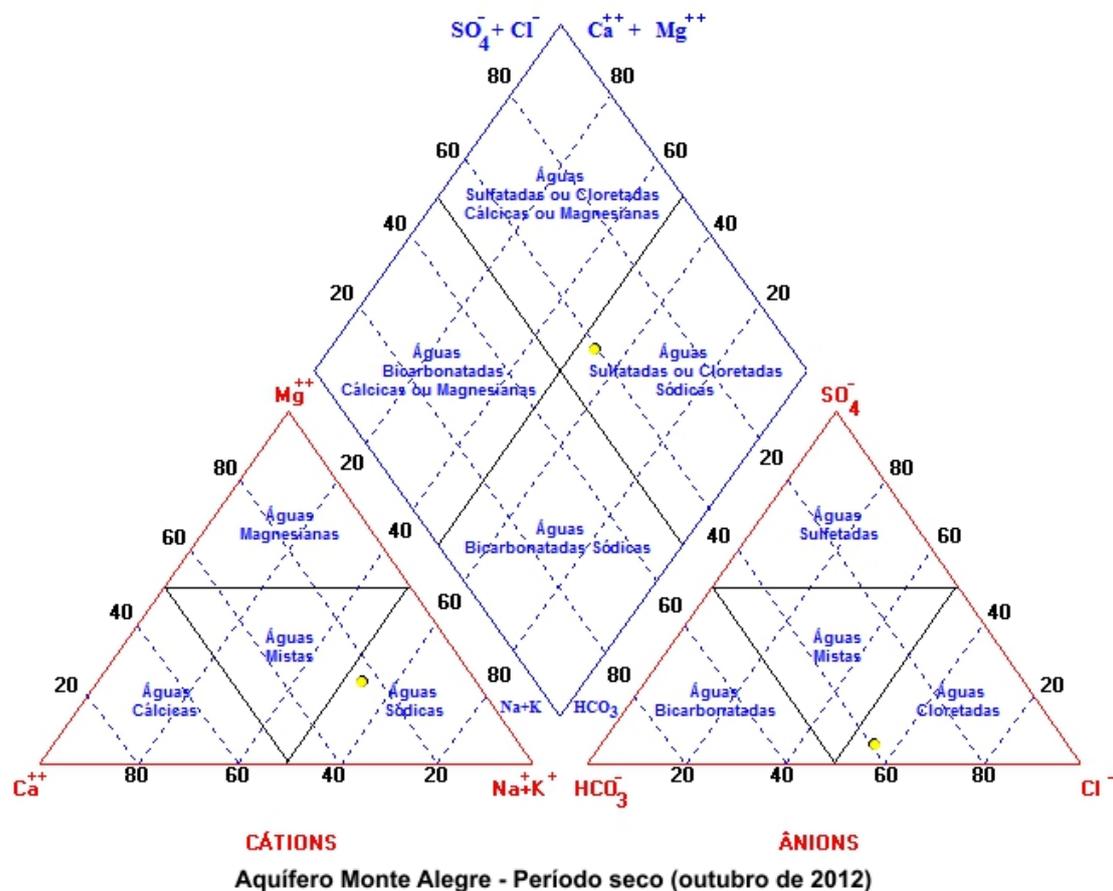


Figura 7.2 – Classificação das águas do aquífero Monte Alegre no período seco (outubro de 2012), segundo o diagrama triangular de Piper.

Mediante análise dos dados verificou-se que as águas do aquífero Monte Alegre são cloretadas sódicas nas duas campanhas de amostragem.

7.6.14.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012 no aquífero Monte Alegre, foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos, os íons predominantes em cada um dos poços analisados.

Na primeira campanha, o resultado sugere que a água do aquífero Monte Alegre é do tipo sulfatada sódica (**figura 7.3**); enquanto que na segunda campanha, o resultado obtido indica a presença de água cloretada sódica (**figura 7.4**).

Aquífero Monte Alegre (Água Sulfatada Sódica) – abril de 2012

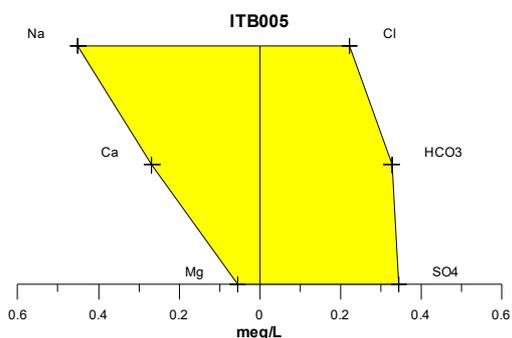


Figura 7.3 – Água sulfatada sódica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em abril de 2012 no aquífero Monte Alegre.

Aquífero Monte Alegre (Água Cloretada Sódica) – outubro de 2012

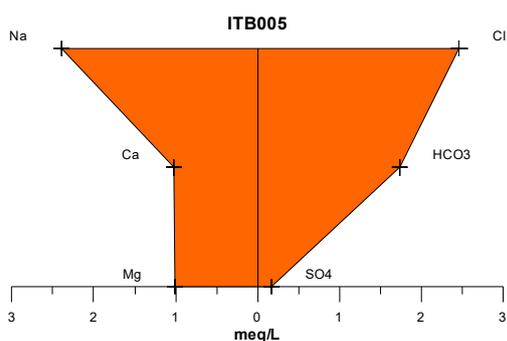


Figura 7.4 – Água cloretada sódica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em outubro de 2012 no aquífero Monte Alegre.

7.6.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Monte Alegre Segundo o Uso

7.6.15.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano

A potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre para consumo humano, avaliada através do Diagrama de Schoeller-Berkaloff, é apresentada na **figura 7.5** para o período chuvoso e na **figura 7.6** para o período de estiagem. Em ambos os períodos verifica-se que a potabilidade se classifica como boa. Além disso, é possível notar que os parâmetros cloreto e sulfato estão abaixo do VMP recomendado pela Portaria MS 2914/2011.

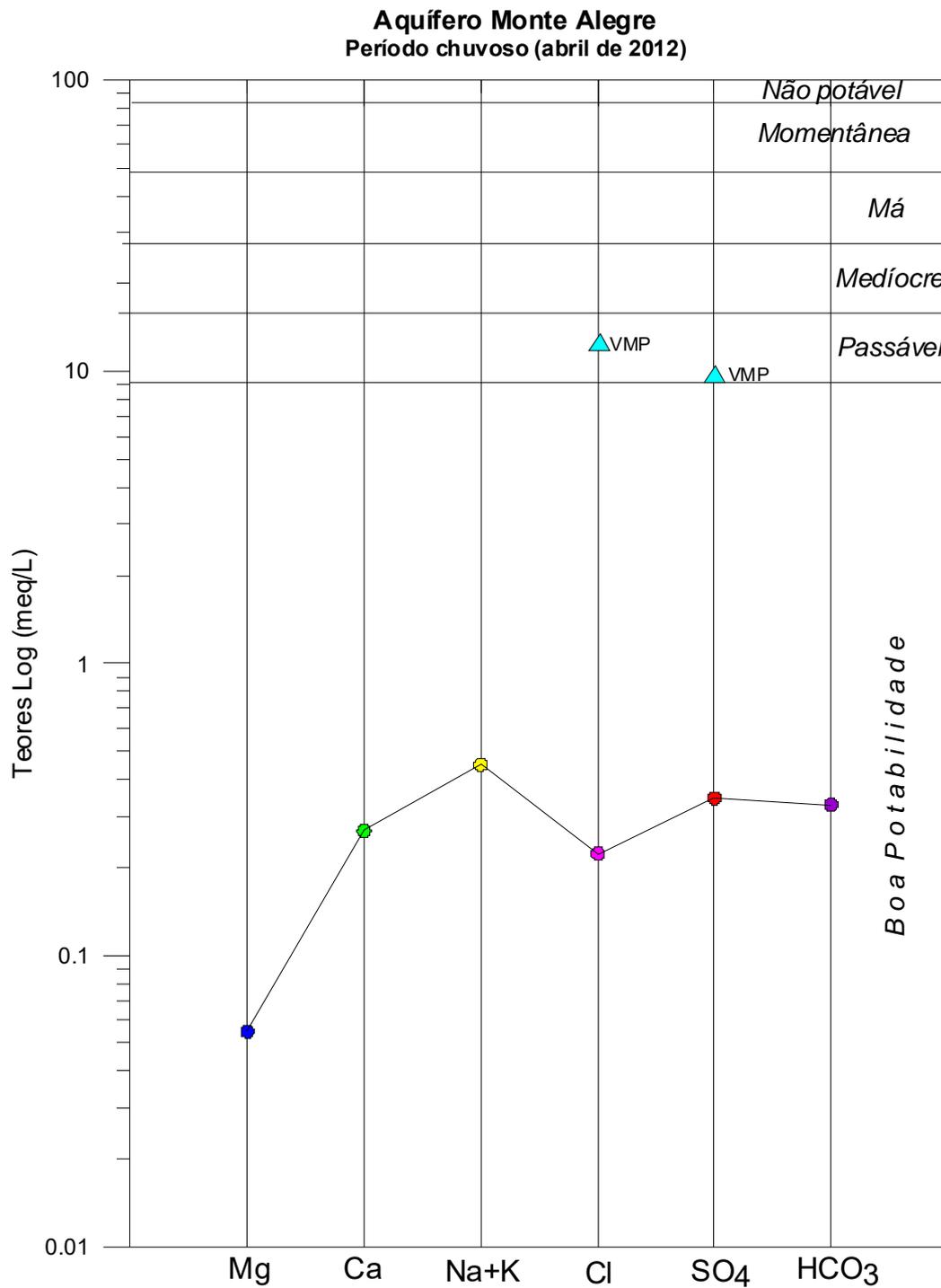


Figura 7.5 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre no período chuvoso (abril de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

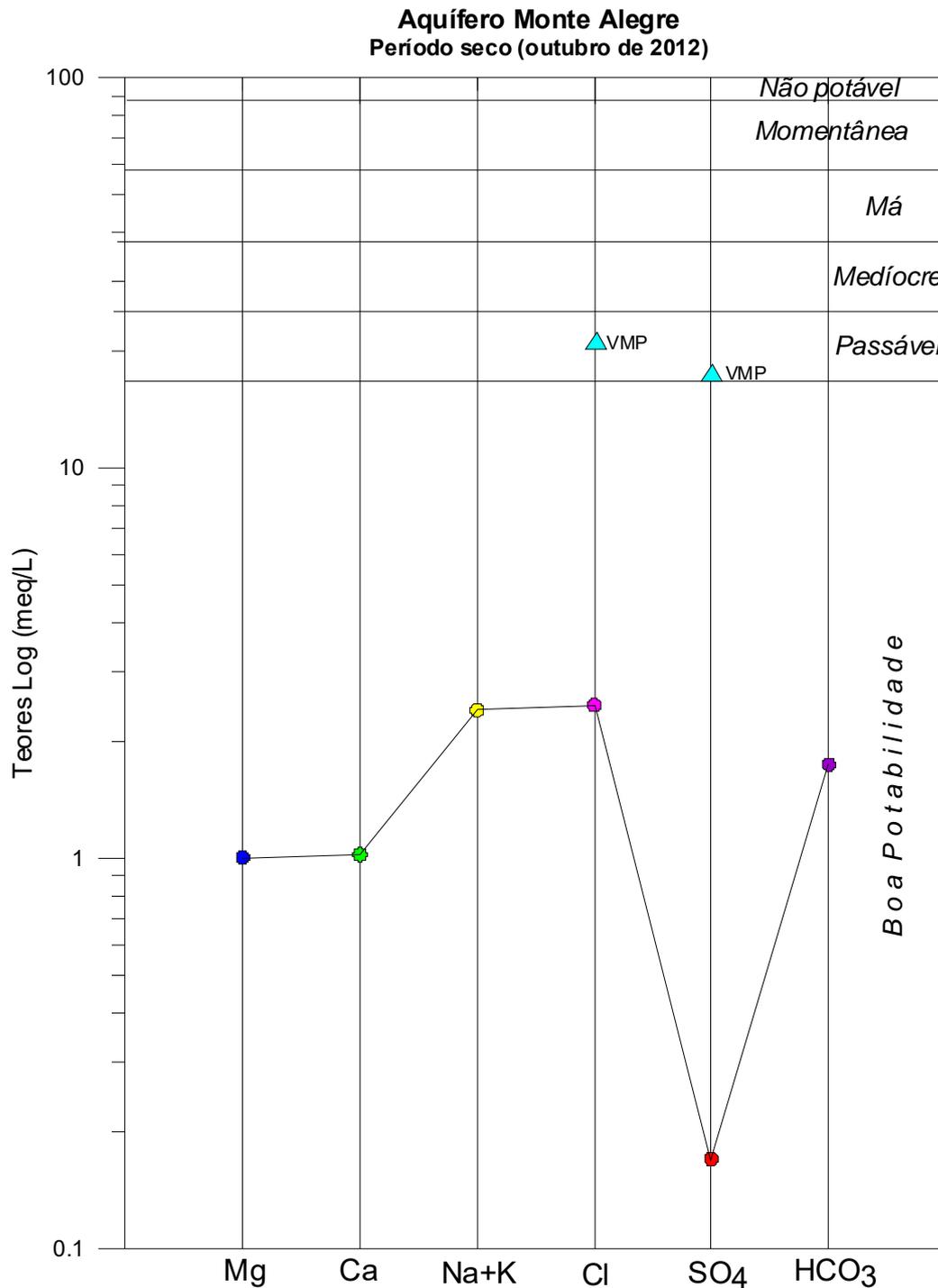


Figura 7.6 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Monte Alegre no período de estiagem (outubro de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

7.6.15.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação

Para a avaliação das águas do aquífero Monte Alegre quanto ao uso na irrigação foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na

condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

Período chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que no período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Monte Alegre apresentaram risco de sódio baixo, ou seja, classificação S₁, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais. Quanto à salinidade, verificou-se que as águas apresentaram a classificação C₁, indicativa de águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca (figura 7.7).

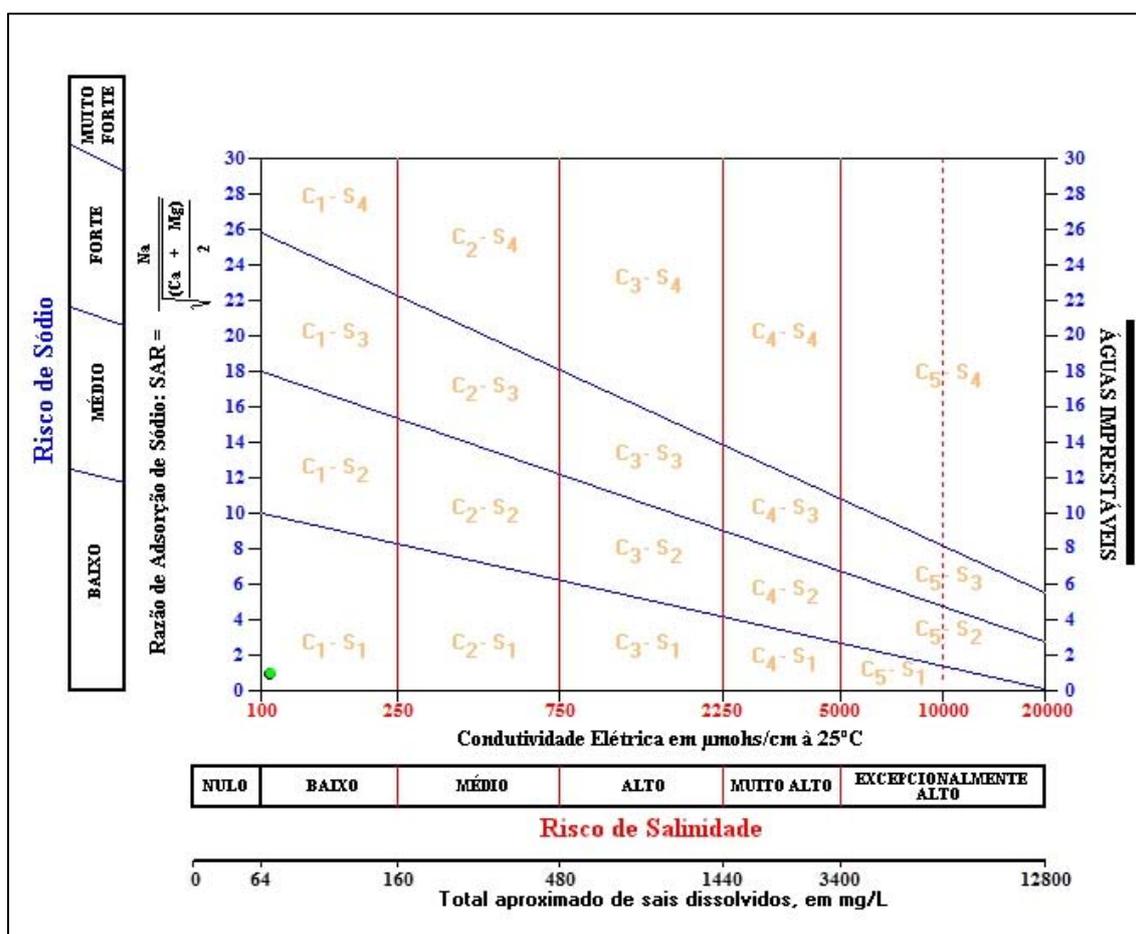


Figura 7.7 – Classificação das águas do aquífero Monte Alegre para fins de irrigação – abril de 2012.

Período de estiagem

No período seco (outubro de 2012), as águas do aquífero Monte Alegre apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S₁, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais. Com relação à salinidade, as águas apresentaram a classificação C₂, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução (figura 7.8).

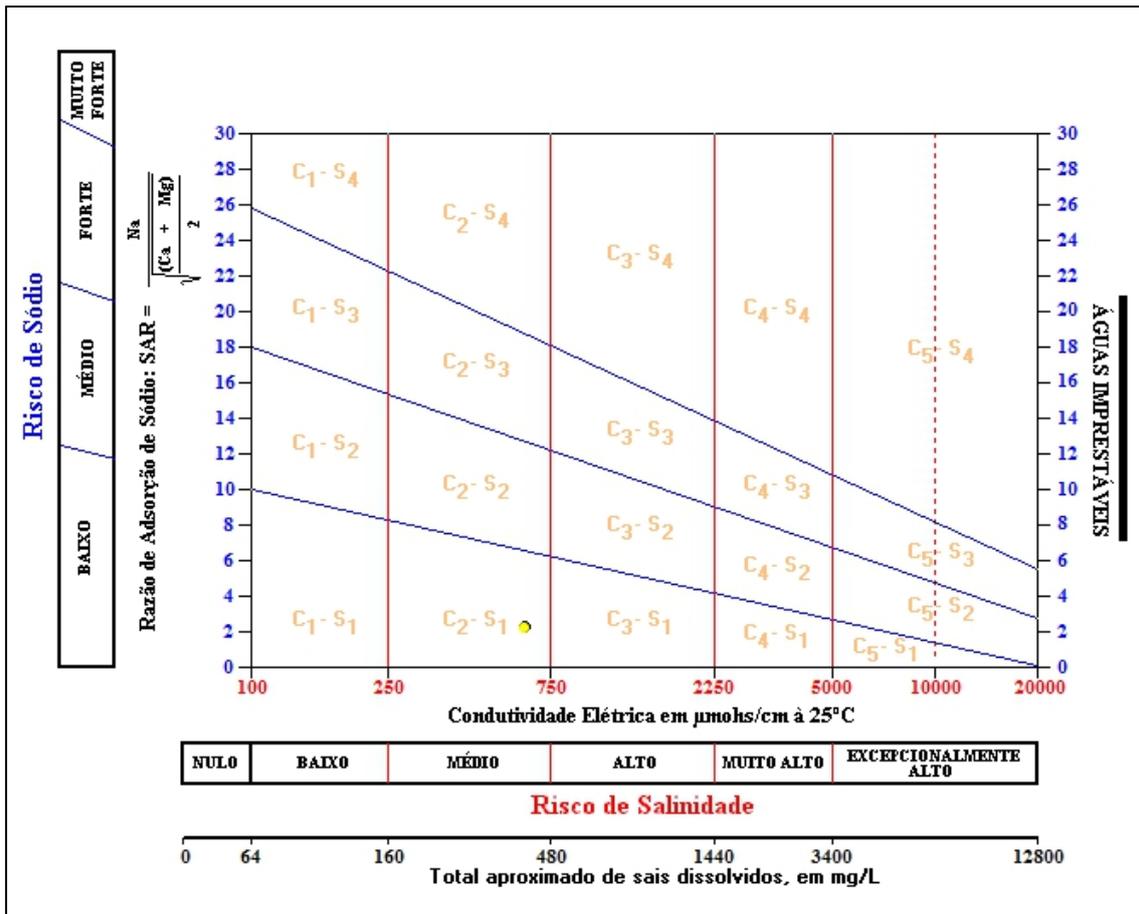


Figura 7.8 – Classificação das águas do aquífero Monte Alegre para fins de irrigação – outubro de 2012.

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram águas com risco de sódio baixo, e salinidade que varia de baixo a médio, o que requer cuidados caso seja utilizada para irrigação, pois pode ocasionar a salinização do solo (**tabela 7.25**).

Tabela 7.25 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.

Nome	Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
	Classe USSL	Risco		Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio		Salinidade	Sódio
ITB005	C1-S1	Baixo	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo

7.6.15.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas no aquífero Monte Alegre nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 7.26**.

Tabela 7.26 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima, é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 92 e 402 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

7.6.16 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Monte Alegre

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Monte Alegre indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica.

Apesar de nenhum dos parâmetros físico-químicos analisados ultrapassar o VMP de potabilidade estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 e nem alcançar os limites dos usos preponderantes definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, a simples presença sugere contaminações de ordem antrópica, a exemplo, do cloreto, sulfato, nitrato e amônia.

A análise dos parâmetros físico-químicos coletados nas duas campanhas de amostragem realizadas em abril e outubro de 2012 revelou teores mais elevados no período de estiagem para os elementos: cor, CE, STD, Eh, sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, bicarbonato e dureza; enquanto que turbidez, sulfato, nitrato, amônia, ferro e manganês estiveram mais altos no período chuvoso.

De modo geral, verificou-se que os parâmetros que apresentaram comportamento sazonal destacado no período chuvoso se devem provavelmente a maior contribuição antrópica devido à infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais, sobrepostos ao Aquífero Monte Alegre.

Ao passo que aqueles parâmetros que se apresentaram com maior destaque no período de estiagem podem ser justificados pela redução da drenança oriunda das partes superiores, o que reduz a mistura de águas subterrâneas e condiciona maior concentração de íons das litologias carbonáticas presentes, sobretudo do aquífero Itaituba, sobreposto ao Aquífero Monte Alegre.

A presença de Coliformes totais nas duas campanhas e de *E. Coli* apenas na primeira coleta no aquífero Monte Alegre é justificável. Isto ocorre devido à infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Monte Alegre, os quais são muito susceptíveis a contaminações locais, principalmente dos ordem antrópica, como é o caso da infiltração do esgoto *in natura* devido à proximidade dos poços com as fossas sépticas.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que as águas são levemente ácidas no período chuvoso devido a maior contribuição da infiltração das águas dos aquíferos sobrepostos (Aluviais), enquanto que no período seco são alcalinas, devido a maior influência da litologia carbonática do aquífero Itaituba sobreposto ao Aquífero Monte Alegre.

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química, é possível verificar que as águas do aquífero Monte Alegre são Cloretadas Sódicas por indicação dos diagramas de Piper; sulfatada sódica e cloretada sódica segundo os diagramas de Stiff; e de boa potabilidade, segundo diagrama de Schoeller-Berkaloff.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação, verifica-se que as águas do aquífero Monte Alegre possuem risco de sódio baixo e salinidade que varia entre baixa a média, indicando que as águas podem ser usadas para o cultivo de boa parte dos vegetais.

Por meio da metodologia de McKee & Wolf (1963), as águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixos.

8 – Hidrogeoquímica do Aquitardo Itaituba

8.1 - Introdução

No contexto regional, o aquífero Itaituba está localizado na Província Amazonas, que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003). No contexto local, o aquífero Itaituba está situado na Bacia do Amazonas.

A Bacia do Amazonas é uma bacia intracratônica com cerca de 500.000 km², abrangendo parte dos estados do Amazonas e Pará, entre os escudos pré-cambrianos das Guianas (ao Norte) e Brasileiro (ao Sul). Está separada das bacias do Solimões e Marajó pelos arcos de Purus e Gurupá, respectivamente (Santos *et al.*, 2011).

Com base no empilhamento estratigráfico proposto no Volume II - Geologia da Província Hidrogeológica Amazonas deste projeto, o Paleozoico da Bacia do Amazonas é formado pelas seguintes unidades: Grupo Trombetas, Grupo Iracema, Grupo Urupadi, Grupo Curuá e Grupo Tapajós, além das formações Arari e Andirá. Esse último grupo, o Tapajós, contém as formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda.

A Formação Itaituba varia em espessura entre 110 e 420 m, e marca o estabelecimento de amplas condições marinhas durante este intervalo. É constituída por intercalações de carbonatos e evaporitos, com folhelhos, siltitos e arenitos que representam depósitos transgressivo-regressivos de moderada energia e ambiente marinho raso de infra e inter-maré (Scomazzon, 2004).

De acordo com a litologia acima descrita, há uma predominância de carbonato com arenitos e folhelhos intercalados, o que classifica a formação Itaituba do ponto de vista hidrogeológico como aquífero.

Os estratos da Formação Itaituba são os depósitos mais ricos em fósseis marinhos da Bacia do Amazonas, com uma afinidade com as faunas da América do Norte. Os folhelhos e siltitos por vezes contém crustáceos e plantas, indicativos de depósitos salobros e de água doce (Scomazzon, 2004).

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas do Aquífero Itaituba na cidade de Itaituba - PA foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 12.8**.

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Itaituba, juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

Laboratório da Bioagri Ambiental:

- 02 (duas) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH *in situ*, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto,

sulfato, Eh, bicarbonato, nitrogênio (amoniaco, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*);

Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:

- 01 (uma) Análise de Isótopo Ambiental Estável - deutério e oxigênio-18.

Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:

- 01 (uma) Análise do Isótopo Ambiental Radioativo - trício.

Laboratório Beta Analytic, da Flórida - USA:

- 01 (uma) Análise do Isótopo Ambiental - carbono 14.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 12.6**.

O aquitardo Itaituba só possui 2 (dois) pontos de amostragem e desse modo não foi possível efetuar estatística descritiva e nem realizar distribuição de probabilidade por meio de modelagem geoestatística para definir se há ou não influência da sazonalidade para o parâmetro físico-químico analisado.

8.2 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquitardo Itaituba foram submetidos a avaliações pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos no período chuvoso (abril de 2012), todas as amostras coletadas no aquitardo Itaituba apresentaram Ep fora dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1 e nº 2 (**tabela 8.1**).

Tabela 8.1 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquitardo Itaituba – abril de 2012.

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
ITB002	177	1,27	0,77	49,77	24,88
ITB003	118	0,64	0,35	60,38	30,19

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Período de Estiagem

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que no período seco (outubro de 2012) todas as amostras coletadas no aquitardo Itaituba apresentaram Ep fora dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1, enquanto que 50% (1/2) das amostras obtiveram Ep inferior a 15%, sendo considerada correta segundo a metodologia nº 2 (**tabela 8.2**).

Tabela 8.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Itaituba – outubro de 2012.

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço Iônico nº 1	Balanço Iônico nº 2
ITB002	247	1,59	1,41	12,38	6,19
ITB003	187	1	0,63	44,54	22,27

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de Ep superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (Ep %), sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). As águas do aquífero Itaituba se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que os teores de STD alcançam no máximo 137 mg/L no período chuvoso e 165 mg/L no período de estiagem, quando o VMP desse parâmetro para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, é de 1.000 mg/L.

Convém destacar ainda que as concentrações de STD, assim como, dos íons sódio (Na^+), Cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou $\mu\text{g}/\text{L}$. Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de detecção indicados, por exemplo, como (<1), foram considerados no cálculo do erro, como 1 $\mu\text{g}/\text{L}$ (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para mg/L (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados nas amostras do aquífero Itaituba não comprometem os resultados analíticos obtidos, pois segundo Younger (1995), os maiores erros de balanço iônico estão associados a águas pouco mineralizadas (como a água da chuva), ou seja, muito diluídas e, também, a águas muito mineralizadas, cujo erro no balanço iônico pode ser reflexo das determinações de cloreto, pois para altas concentrações de ferro pode haver formação de complexos de ferro total que mascaram o ponto final da titulação.

8.3 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Itaituba foi estimado conforme metodologia descrita no **item 1.8**.

De acordo com os dados da **tabela 8.3**, verifica-se que nas duas campanhas de amostragem o ITB calculado forneceu valores negativos. Tais dados sugerem que há maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que indica o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ .

Tabela 8.3 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Itaituba nas duas campanhas.

Poço	ITB - abril de 2012 (meq/L)	ITB - outubro de 2012 (meq/L)
ITB002	-0,54	-0,05
ITB003	-0,25	-0,83

Os resultados de ITB negativos obtidos em ambas as campanhas são justificáveis por conta da influência da litologia carbonática do aquífero Itaituba.

8.4 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Itaituba nas duas campanhas de amostragem, de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A **tabela 8.4** mostra os resultados das principais razões iônicas para as duas campanhas realizadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

A razão rMg^{2+}/rCa^{2+} nas duas campanhas, indica que os poços possuem águas continentais.

A razão rNa^+/rCl^- sugere que na primeira campanha, o poço tem águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas; e na segunda campanha indica que os poços tem águas de precipitação de sais de Na^+ .

A razão iônica $rCl^-/rHCO_3^-$ indica que na primeira campanha, 50% dos poços tem águas com ausência de íon bicarbonato; e na segunda campanha, 50% dos poços tem águas continentais.

Tabela 8.4 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Itaituba nas duas campanhas.

Poço	Razões iônicas - Período chuvoso			Razões iônicas - Período seco		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
ITB002	0,51	1,46	5,86	0,68	0,40	0,13
ITB003	0,42	1,14	-	0,72	0,63	3,17

A classificação sugerida por Hem (1985) de rochas cristalinas ou vulcânicas para a região do aquífero Itaituba é muito pouco provável, pois segundo Silva (2014), na Formação Itaituba, de idade carbonífera da Bacia do Amazonas, são atribuídos rochas carbonáticas e evaporíticas, as quais são expostas principalmente nas margens do rio Tapajós.

Tratando-se de uma pesquisa em ambiente urbano e de um número de amostras baixo, nada exclui a possibilidade de que essas conclusões acerca das razões iônicas no aquífero Itaituba sejam aprofundadas em estudos futuros.

8.5 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Itaituba nas duas campanhas de amostragem para verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS, apresentada na **tabela 1.6**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Itaituba, no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), podem ser observados na **tabela 8.5**.

Tabela 8.5 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para o aquífero Itaituba nas duas campanhas de amostragem.

Poço	IS (Abril de 2012)	IS (Outubro de 2012)
ITB002	-3,60	0,70
ITB003	-5,41	-3,06

Os resultados de IS negativo, indicam águas que não possuem características incrustantes. Isto ocorre quando as águas do aquífero são mais ácidas, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

Os resultados de IS positivo sugerem que as águas possuem características incrustantes. Isto ocorre, quando os teores de dureza são mais elevados, pois segundo Scmazzon (2004), a formação Itaituba é constituída por intercalações de carbonatos e evaporitos.

8.6 – Interpretação dos Resultados Analíticos das águas subterrâneas do Aquífero Itaituba

8.6.1 – Cor

Os resultados de cor obtidos no aquífero Itaituba podem ser observados na **tabela 8.6**. Nas duas campanhas de amostragem, os poços apresentaram valores de cor < 5, ou seja, inferior ao LD (limite de detecção) de 5 uH.

Nas duas campanhas de amostragem, os teores de cor não ultrapassam o VMP da Portaria MS 2914/2011 descrito no **item 2.1**.

Tabela 8.6 – Valores de Cor obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Cor (uH) - Abril de 2012	Cor (uH) - Outubro de 2012
ITB002	4,9	4,9
ITB003	4,9	4,9

8.6.2 – Turbidez

Na primeira campanha, os valores de turbidez variaram de 0,10 a 0,23 uT, enquanto que na segunda campanha os valores oscilaram entre 0,93 e 3,10 uT (**tabela 8.7**).

Em ambas as campanhas de amostragem, os poços apresentaram valores de turbidez dentro dos padrões de potabilidade da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.2**).

Tabela 8.7 – Valores de Turbidez obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Turbidez (uT) - Abril de 2012	Turbidez (uT) - Outubro de 2012
ITB002	0,23	0,93
ITB003	0,10	3,10

8.6.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) do aquífero Itaituba (**tabela 8.8**) variou de 118 a 177 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso e de 187 a 247 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período de estiagem.

Os valores de CE diferentes nas duas campanhas de amostragem são justificáveis, pois, segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica depende da composição iônica dos corpos d'água e pode ser influenciado também pelo volume de chuvas, o que é bastante frequente na região estudada.

Tabela 8.8 – Valores de Condutividade Elétrica (CE) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) - Abril de 2012	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) - Outubro de 2012
ITB002	177	247
ITB003	118	187

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; e água poluída, quando a CE é $> 10.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Nesse caso, as águas do aquífero Itaituba, em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potáveis.

Segundo Custodio & Llamas (1983), a condutividade elétrica da água constitui um parâmetro físico que corresponde à quantidade de íons dissolvidos em seu meio e varia com a temperatura, mobilidade e valência dos íons presentes. Este parâmetro está intrinsecamente correlacionado à geologia de cada localidade, ou seja, o arcabouço de rochas, minerais e sedimentos que constituem uma determinada região, os quais influenciarão diretamente os íons que vão compor as águas superficiais e subterrâneas.

Os valores de CE mais elevados na segunda campanha de amostragem podem ser justificados pela redução da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Itaituba, os quais possuem influência das águas superficiais e são muito utilizados pela população por meio de poços que geralmente são construídos com técnicas inapropriadas, sem a devida proteção sanitária, o que faz com que os horizontes carbonáticos presentes no aquífero Itaituba passem a ter maior influência no período seco.

8.6.4 – Temperatura

A temperatura da água subterrânea no aquífero Itaituba no período chuvoso variou de 27,80 a 28,80°C, com amplitude térmica de 1 °C; enquanto que no período seco oscilou entre 29,3 e 29,5°C, com amplitude térmica de 0,2°C (tabela 8.9).

Tabela 8.9 – Valores de Temperatura obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Temperatura (°C) - Abril de 2012	Temperatura (°C) - Outubro de 2012
ITB002	28,80	29,3
ITB003	27,80	29,5

As temperaturas nas duas campanhas de amostragem são quase iguais e possivelmente decorrem da influência da temperatura ambiente sobre as águas subterrâneas.

8.6.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Itaituba variaram de 76 a 137 mg/L no período chuvoso, enquanto que no período seco oscilaram entre 153 e 165 mg/L (tabela 8.10).

Os valores de STD impetrados nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011 e da Resolução CONAMA 396/2008 (item 2.5), que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano.

Tabela 8.10 – Valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	STD (mg/L) - Abril de 2012	STD (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	137	165
ITB003	76	153

Os valores de STD mais elevados na segunda campanha de amostragem podem ser justificados pela redução da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Itaituba, os quais possuem influência das águas superficiais e são muito utilizados pela população por meio de poços que geralmente são construídos com técnicas inapropriadas, sem a devida proteção sanitária, o que faz com que os horizontes carbonáticos presentes no aquífero Itaituba passem a ter maior influência no período seco.

8.6.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade (item 2.6). No caso específico do aquífero Itaituba, cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é ácido em algumas amostras no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo dentro do próprio poço, tende a atingir a

neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

De acordo com os dados apresentados na **tabela 8.11**, as águas subterrâneas do aquífero Itaituba possuem pH *in situ* que varia de 4,46 a 5,14 no período chuvoso e de 5,8 a 7,9 no período seco.

É importante salientar que o pH das águas subterrâneas da Amazônia normalmente é influenciado pela alta pluviosidade da região, pois a água da chuva é o principal agente do intemperismo químico ao infiltrar e percolar as rochas. De acordo, com Teixeira *et al.* (2000), isso ocorre, uma vez que a água da chuva é rica em O₂, que interage com o CO₂ da atmosfera e adquire caráter ácido, e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica enriquecem o ambiente em CO₂, diminuem ainda mais o seu pH.

Tabela 8.11 – Valores de pH *in situ* (pH) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	pH - Abril de 2012	pH - Outubro de 2012
ITB002	5,14	7,9
ITB003	4,46	5,8

Os resultados mostram que na primeira campanha, as águas do aquífero Itaituba são mais ácidas quando comparadas aos dados do período seco.

Isto provavelmente se deve a redução da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Itaituba, os quais possuem influência das águas superficiais e são muito utilizados pela população por meio de poços que geralmente são construídos com técnicas inapropriadas, sem a devida proteção sanitária, o que faz com que os horizontes carbonáticos presentes no aquífero Itaituba passem a ter maior influência no período seco, e, portanto, as águas se apresentam com maior pH *in situ*.

8.6.7 – Potencial Redox (Eh)

Os dados de Eh no aquífero Itaituba (**tabela 8.12**) mostram que no período chuvoso o valor variou de 94,66 a 132,3 mV, enquanto que no período seco o mínimo foi de 46 mV e o máximo de 509 mV. Nas duas campanhas de amostragem os valores de Eh foram positivos, o que sugere que as águas do aquífero Itaituba se encontram em condições oxidantes.

Tabela 8.12 – Valores de Potencial Redox (Eh) obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Eh (mV) - Abril de 2012	Eh (mV) - Outubro de 2012
ITB002	94,66	46
ITB003	132,3	509

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e

negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução em razão da contínua adição de doadores de elétrons, o que acarreta no caso do aquífero Itaituba, as diferenças de valores de Eh nas duas campanhas.

8.6.8 – Cátions

8.6.8.1 – Sódio

A **tabela 8.13** indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Itaituba oscilaram entre 8,8 a 19,3 mg/L no período chuvoso e de 3,8 a 13,9 mg/L no período de estiagem.

Tabela 8.13 – Valores de Sódio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Sódio (mg/L) - Abril de 2012	Sódio (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	19,3	3,8
ITB003	8,8	13,9

Em ambas as campanhas, as amostras apresentaram teores de sódio abaixo do limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, assim como dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.8.1**), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação.

Os baixos teores de sódio encontrados em ambas as campanhas de amostragem no aquífero Itaituba estão ligados ao intemperismo químico da região, conforme descrito no **item 1.12**, bem como à constante renovação das águas subterrâneas devido à elevada precipitação regional.

8.6.8.2 – Potássio

A **tabela 8.14** mostra que os teores de potássio no aquífero Itaituba variaram de 1,36 a 1,85 mg/L no período chuvoso, e de 0,006 a 2,304 mg/L no período de estiagem.

Tabela 8.14 – Valores de Potássio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Potássio (mg/L) - Abril de 2012	Potássio (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	1,850	0,006
ITB003	1,360	2,304

Os teores de potássio encontrados nas duas campanhas de amostragem são baixos, o que pode ser justificado pela alta pluviosidade na região amazônica, a qual favorece a constante renovação das águas e, conseqüentemente, a diluição dos cátions associada ao forte intemperismo químico regional (**item 1.12**).

Segundo Pereira *et al.* (2008), o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais.

8.6.8.3 – Cálcio

No período chuvoso, o teor de cálcio no aquífero Itaituba oscilou de 3,18 a 5,10 mg/L, enquanto que no período de estiagem a variação foi de 3,90 a 17 mg/L, como pode ser observado na **tabela 8.15**.

Tabela 8.15 – Valores de Cálcio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Cálcio (mg/L) - Abril de 2012	Cálcio (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	5,10	17,00
ITB003	3,18	3,90

Os teores de cálcio mais elevados no período de estiagem são justificáveis, pois com a redução da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Itaituba, os horizontes carbonáticos presentes no aquífero Itaituba passam a ter maior influência no período seco.

8.6.8.4 – Magnésio

O teor de magnésio coletado nas águas do aquífero Itaituba variaram de 0,8 a 1,5 mg/L no período chuvoso, enquanto que no período seco a oscilação foi de 1,7 a 7,0 mg/L (**tabela 8.16**).

Tabela 8.16 – Valores de Magnésio obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Magnésio (mg/L) - Abril de 2012	Magnésio (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	1,5	7,0
ITB003	0,8	1,7

Os teores de magnésio mais elevados no período de estiagem são justificáveis, pois com a redução da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Itaituba, os horizontes carbonáticos presentes no aquífero Itaituba passam a ter maior influência no período seco.

8.6.9 – Ânions

8.6.9.1 – Cloreto

A **tabela 8.17** mostra que os teores de cloreto nas águas do aquífero Itaituba variaram de 11,87 a 20,42 mg/L no período chuvoso e de 5,51 a 12,90 mg/L no período de estiagem.

Tabela 8.17 – Valores de Cloreto obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Cloreto (mg/L) - Abril de 2012	Cloreto (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	20,42	5,51
ITB003	11,87	12,90

Nas duas campanhas de amostragem os teores de cloreto obtidos foram inferiores ao VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, e se mantiveram dentro dos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.9.1**), sugerindo que as águas do aquífero Itaituba podem ser usadas para consumo humano, irrigação e recreação.

8.6.9.2 – Sulfato

No período chuvoso (abril de 2012), o teor de sulfato nas águas do aquífero Itaituba variou de 0,49 a 4,36 mg/L, enquanto que no período seco (outubro de 2012) oscilou de 0,99 a 7,42 mg/L (**tabela 8.18**).

Tabela 8.18 – Valores de Sulfato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Sulfato (mg/L) - Abril de 2012	Sulfato (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	4,36	0,99
ITB003	0,49	7,42

Na primeira campanha, o poço ITB003 apresentou teor de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L; enquanto que na segunda campanha, o poço ITB002 apresentou teor de sulfato abaixo do limite de detecção de 1 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Nas duas campanhas de amostragem os teores de sulfato encontrados estiveram abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas do aquífero Itaituba podem ser usadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação; bem como dentro dos padrões organolépticos de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.9.2**).

8.6.9.3 – Bicarbonato

Na primeira campanha, o teor de bicarbonato variou de 0 a 6 mg/L, enquanto que na segunda campanha a oscilação foi de 7 a 75 mg/L (**tabela 8.19**).

O bicarbonato não possui VMP definido para o consumo humano, conforme descrito no **item 2.9.3**.

Tabela 8.19 – Valores de Bicarbonato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Bicarbonato (mg/L) - Abril de 2012	Bicarbonato (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	6	75
ITB003	0	7

Os teores de bicarbonato mais elevados no período de estiagem são justificáveis, pois com a redução da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Itaituba, as intercalações de carbonatos presentes no aquífero Itaituba passem a ter maior influência no período seco.

8.6.10 – Dureza

A **tabela 8.20** mostra que a dureza das águas subterrâneas do aquífero Itaituba no período chuvoso variou de 11,30 a 19,23 mg/L, enquanto que no período de estiagem a oscilação foi de 16,53 a 71,36 mg/L.

Tabela 8.20 – Valores de Dureza obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Dureza (mg/L) - Abril de 2012	Dureza (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	19,23	71,36
ITB003	11,30	16,53

Segundo a classificação de Von Sperling (2005) descrita no **item 2.10**, as águas do aquífero Itaituba no período chuvoso são do tipo mole; e no período de estiagem são do tipo mole no poço ITB003 e moderada no poço ITB002. Isto provavelmente se deve ao clima da região amazônica, no qual as chuvas são muito frequentes, e há uma constante renovação das águas, o que favorece a baixa mineralização.

Nas duas campanhas, nenhuma das amostras ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO₃ (**item 2.10**).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2002), a água subterrânea é geralmente de boa qualidade, porém em alguns casos pode conter alta concentração de sais, entre eles os de cálcio e de magnésio, por estar intimamente em contato com materiais solúveis do solo e das rochas, no seu entorno e em áreas de recarga, e assim, apresentar elevado teor de dureza.

Os teores mais elevados de dureza no período de estiagem no aquífero Itaituba, provavelmente, se deve ao fato de que houve um pequeno aumento dos valores de cálcio e magnésio na segunda campanha, desse modo é coerente que a dureza apresentasse o mesmo comportamento, haja vista que sua composição se baseia nos teores desses elementos. Isto é resultado da redução da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Itaituba, os quais possuem influência das águas superficiais e antrópica, o que faz com que os horizontes carbonáticos presentes no aquífero Itaituba passem a ter maior influência no período seco.

8.6.11 – Compostos Nitrogenados

8.6.11.1 - Nitrato

A **tabela 8.21** mostra os teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas do aquífero Itaituba nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, a concentração de nitrato variou de 7,33 a 9,93 mg/L, enquanto que no período seco a oscilação foi de 0,19 a 7,69 mg/L.

Na segunda campanha, o poço ITB002 apresentou teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,2 mg/L.

Tabela 8.21 – Valores de Nitrato obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Nitrato (mg/L) - Abril de 2012	Nitrato (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	9,93	0,19
ITB003	7,33	7,69

Nenhuma das amostras analisadas nas duas campanhas ultrapassou o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.11**), assim como estiveram dentro dos padrões indicados para consumo humano,

dessedentação animal e recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (item 2.11).

Apesar de nenhuma das amostras analisadas ultrapassar o VMP de nitrato definido pelas normas supracitadas, a sua presença nas águas do aquífero Itaituba sugere contaminação local, que provavelmente ocorre a partir da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Itaituba, os quais possuem influência das águas superficiais e são muito utilizados pela população por meio de poços que geralmente são construídos com técnicas inapropriadas nas proximidades das fossas sanitárias, o que permite a infiltração do esgoto *in natura* e conseqüentemente a contaminação das águas subterrâneas.

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato, que possui grande mobilidade no solo, alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando. O nitrato por possuir essas características se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

8.6.11.2 - Nitrito

Na **tabela 8.22** verifica-se que os teores de nitrito obtidos no aquífero Itaituba nas duas campanhas de amostragem estão abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L.

Tabela 8.22 – Valores de Nitrito obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Nitrito (mg/L) - Abril de 2012	Nitrito (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	0,19	0,19
ITB003	0,19	0,19

Em ambas as campanhas, as amostras analisadas apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, assim como poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, em relação a esse parâmetro (item 2.11).

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do aquífero Itaituba são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlfs (2010), nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores geralmente abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

8.6.11.3 - Amônia

Na primeira campanha, os poços apresentaram teor de amônia abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L; enquanto que na segunda campanha, o poço ITB002 apresentou teor de amônia abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L e teor quantificável de 2,10 mg/L no poço ITB003 (**tabela 8.23**).

Tabela 8.23 – Valores de Amônia obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Amônia (mg/L) - Abril de 2012	Amônia (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	0,09	0,09
ITB003	0,09	2,10

Apenas na segunda campanha, no poço ITB003, o teor de amônia encontrado ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L (**item 2.11**).

Isto provavelmente ocorre a partir da infiltração das águas oriundas dos aquíferos Aluviais sobrepostos ao aquífero Itaituba, os quais possuem influência das águas superficiais e são muito utilizados pela população por meio de poços que geralmente são construídos com técnicas inapropriadas nas proximidades das fossas sanitárias, o que permite a infiltração do esgoto *in natura* e conseqüentemente a contaminação das águas subterrâneas.

De acordo com Alburda & Nishihara (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido a sua fácil adsorção por partículas do solo ou a oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

8.6.12 – Ferro e Manganês

8.6.12.1 – Ferro

O teor de ferro nas águas subterrâneas do aquífero Itaituba no período chuvoso variou de 0,006 a 0,015 mg/L; enquanto que no período seco a oscilação foi de 0,055 a 0,197 mg/L (**tabela 8.24**).

Tabela 8.24 – Valores de Ferro obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Ferro (mg/L) - Abril de 2012	Ferro (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	0,015	0,197
ITB003	0,006	0,055

Os valores de ferro obtidos nas duas campanhas de amostragem não ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, assim como se mantiveram dentro dos padrões definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, sugerindo que as águas do aquífero Itaituba podem ser usadas para consumo humano, irrigação e recreação (**item 2.12**).

No caso do aquífero Itaituba, os valores de ferro mais elevados na estiagem são consistentes, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que conseqüentemente favorece a oxidação do ferro.

Apesar de o aquífero Itaituba ser uma unidade menos favorável à liberação de ferro, uma vez que é constituída basicamente por calcários puros e diversificados, existe nessa formação a ocorrência de pirita (sulfeto de ferro),

segundo o Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (CPRM, 2008).

8.6.12.2 – Manganês

A concentração de manganês nas águas subterrâneas do aquífero Itaituba no período chuvoso variou de 0,032 a 0,099 mg/L, enquanto que no período seco a oscilação foi de 0,089 a 0,189 mg/L (**tabela 8.25**).

Tabela 8.25 – Valores de Manganês obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	Manganês (mg/L) - Abril de 2012	Manganês (mg/L) - Outubro de 2012
ITB002	0,099	0,189
ITB003	0,032	0,089

Na segunda campanha de amostragem, o poço ITB002 apresentou teor de manganês acima do VMP estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano, bem como fora dos limites previstos na Resolução CONAMA 396/2008, no que se refere aos usos da água para consumo humano e recreação (**item 2.12**).

Além disso, o poço ITB002 no período chuvoso e as duas amostras na segunda campanha ultrapassaram o VMP definido pela Resolução CONAMA 396/2008 para dessedentação animal.

Nenhuma das amostras analisadas ultrapassou o VMP estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 para irrigação.

Os teores de manganês mais elevados na segunda campanha no aquífero Itaituba são justificáveis, pois a maior presença de oxigênio na zona não saturada no período de estiagem dá lugar a oxidações do manganês, aumentando a sua concentração na zona saturada.

De acordo com Parron *et al.* (2011), o ferro e o manganês são elementos que apresentam comportamento químico muito parecido na natureza e em virtude de afinidades geoquímicas quase sempre ocorrem juntos.

8.6.13 – Isótopos Ambientais

8.6.13.1 – Oxigênio 18 e Deutério

Em hidrologia isotópica, a **equação 2.2** que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig (1961) é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas, conforme pode ser observado no **item 2.15.1**. Contudo, especificamente no caso do aquífero Itaituba, não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem a 1 (um) único ponto de amostragem (**tabela 8.26**), não sendo, portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**.

Tabela 8.26 – Valores de oxigênio-18 e deutério obtido na amostra coletada no aquífero Itaituba no período seco (outubro de 2012).

Poço	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta\text{D}\text{‰}$
ITB002	-4,54	-24,5

8.6.13.2 – Trício

Clark & Fritz (1997) realizaram uma proposta de interpretação qualitativa de dados de ^3H para dados de regiões costeiras e de baixa latitude, onde é feita uma relação entre os valores de unidades de trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**), conforme descrito no **item 2.15.2**.

Sendo assim, com base nessa relação e no dado de ^3H obtido no poço ITB002 no aquífero Itaituba (**figura 8.1**), é possível verificar que o aquífero possui água submoderna com recarga recente.

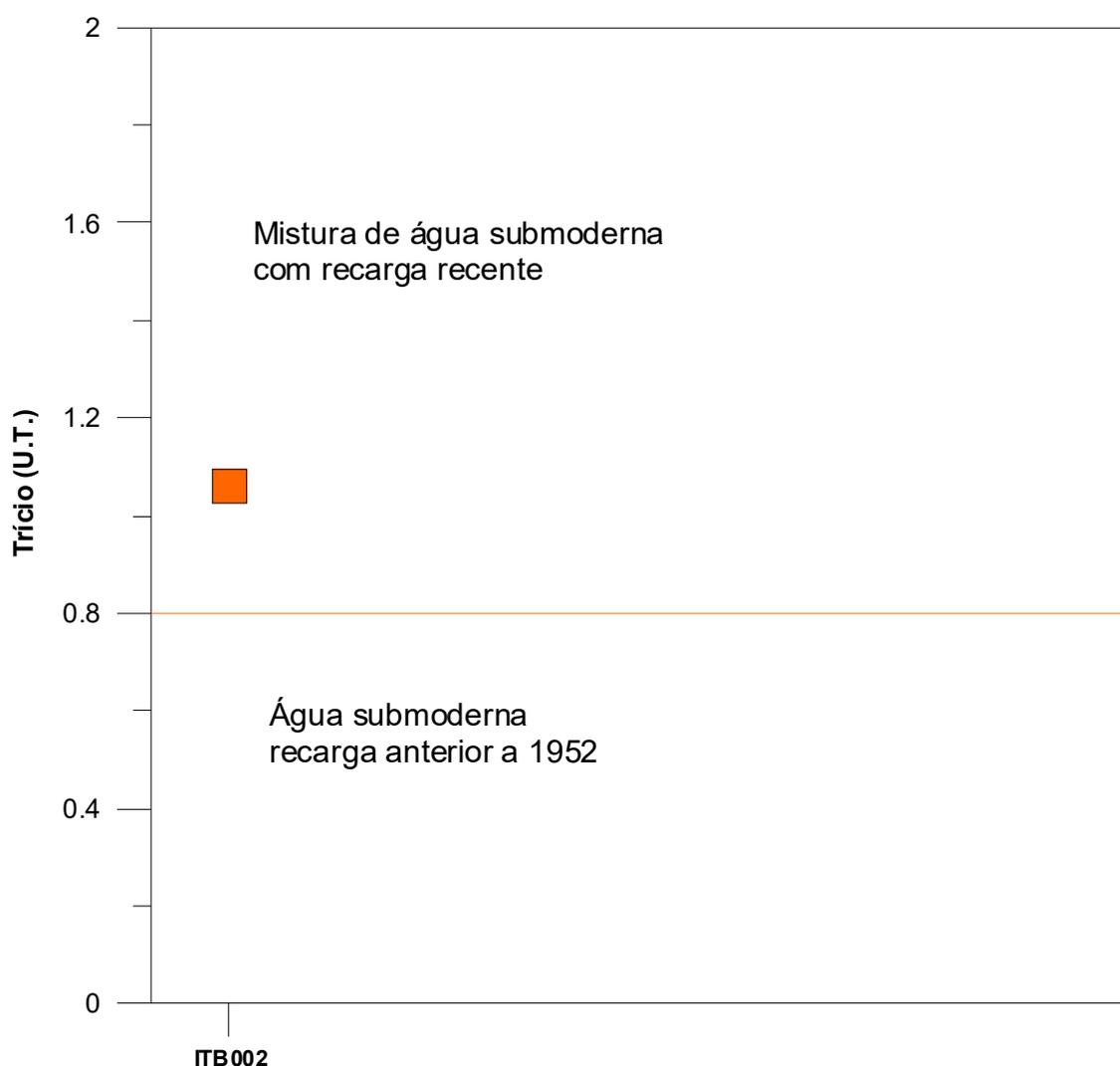


Figura 8.1 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Itaituba, segundo o resultado de trício.

8.6.13.3 – Carbono 14

De acordo com a metodologia proposta por Münnich (1957), descrita no **item 2.15.3** e com base nos dados contidos na **tabela 8.27**, o diagrama da **figura 8.2** indica que no aquífero Itaituba ocorre a presença de paleoáguas no poço ITB002 (930 BP) ou seja, águas com tempo de residência superior a 200 anos. Isto provavelmente se deve ao fato de que a seção do filtro está situada de 24 a 36 m, cuja litologia é composta por calcário na profundidade de 18 a 36 m, o que favorece a renovação das águas de modo mais lento, propiciando os resultados de águas mais antigas.

Tabela 8.27 – Idade aparente ou convencional do radiocarbono (^{14}C) em anos BP (*before present* – 1950) e, quando inferior a 200 anos, dita “Moderna” por convenção e expressa em %M ou pMC (*percent modern carbon*).

Resultado	ITB002
Idade Aparente C14 (Fração Moderna)	930+/-30 BP
Fmdn - fração de carbono moderno	0,8907 +/-0,0033
Razão C13/C12 (‰)	-19,4

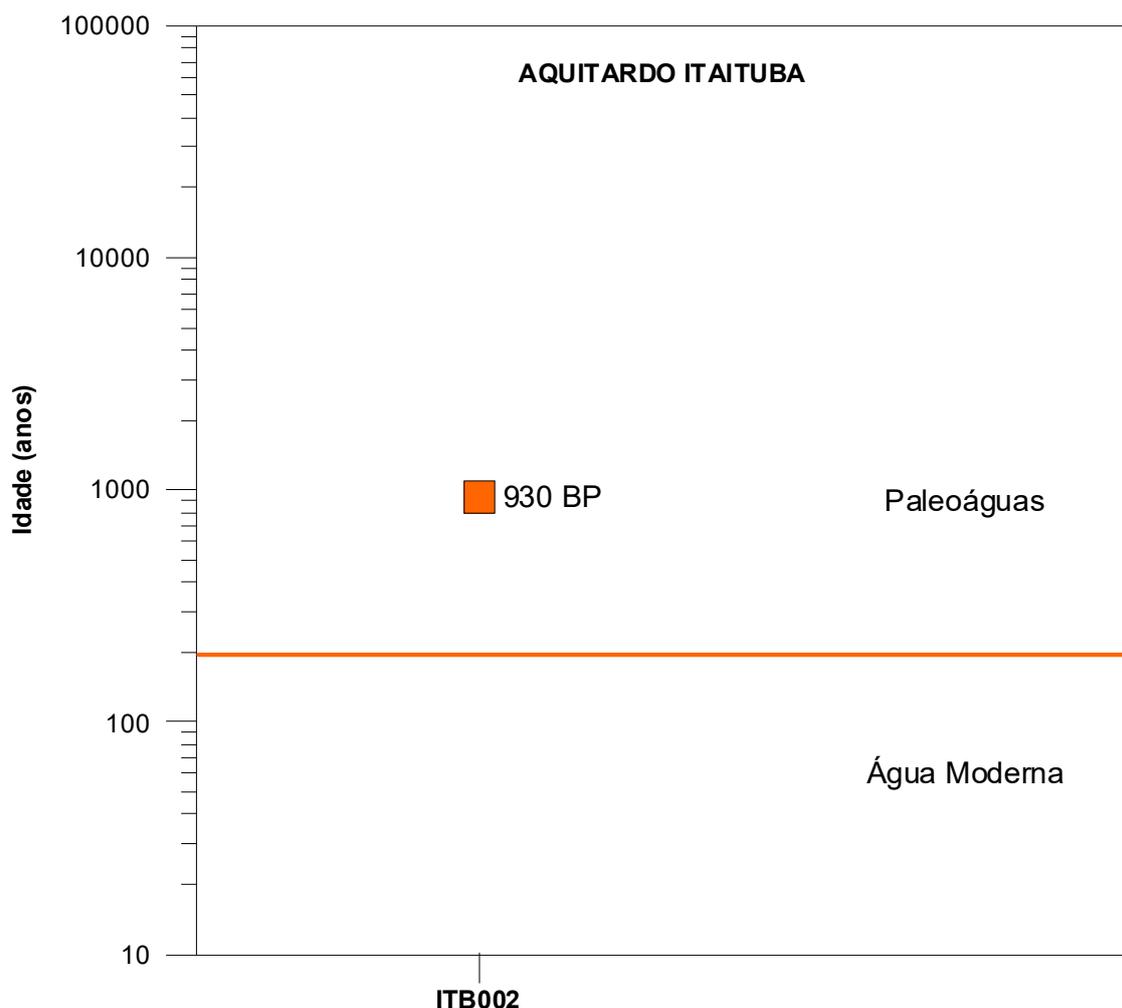


Figura 8.2 – Idade medida com carbono-14 de amostra de água do aquífero Itaituba.

8.6.13.4 - Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no aquífero Itaituba permitiram alcançar os seguintes resultados:

- Não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteorica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem a 1 (um) único ponto de amostragem, não sendo, portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**;
- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) indicaram que as águas do aquífero Itaituba têm mistura de água submoderna com recarga recente;
- A datação radiométrica de Carbono-14 revelou a presença de paleoáguas, com tempo de residência superior a 200 anos, o que sugere a existência de águas mais antigas armazenadas no aquífero Itaituba.

8.6.14 – Parâmetros Biológicos

Coliformes Totais

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso, detectou-se presença de coliformes totais no poço ITB002, enquanto que no período seco, a presença ocorreu no poço ITB003 (**tabela 8.28**), indicando que as águas estão fora dos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011 e, portanto, não podem ser usadas para consumo humano.

Tabela 8.28 – Valores de Coliformes Totais obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	C. Totais (P/A em 100 mL) – Abril de 2012	C. Totais (P/A em 100 mL) – Outubro de 2012
ITB002	1	0
ITB003	0	1

Tais resultados ocorrem no aquífero Itaituba, pois a área de estudo está inserida numa região bastante urbanizada e que não possui sistema de esgotamento sanitário, o que segundo Zoby (2008) é extremamente preocupante, pois a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

Escherichia Coli

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

No período chuvoso e de estiagem, respectivamente, os poços ITB002 e ITB003 apresentaram a presença de *E. coli* nas águas do aquífero Itaituba (**tabela 8.29**), indicando que estão fora dos padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011 e dos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008 para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**). Isto provavelmente se deve ao fato do poço estar localizado nas proximidades das fossas, o que facilita o contato das águas subterrâneas com o esgoto *in natura*.

Tabela 8.29 – Valores de *E. coli* obtidos nas duas campanhas de amostragem no aquífero Itaituba.

Poço	<i>E. coli</i> (PIA em 100 mL) - Abril de 2012	<i>E. coli</i> (PIA em 100 mL) - Outubro de 2012
ITB002	1	0
ITB003	0	1

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo da falta de manutenção do reservatório, localização inadequada do poço e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

8.6.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Itaituba Segundo a Composição Química

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Itaituba, com base nos dados coletados em duas campanhas de amostragem: no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (outubro de 2012).

8.6.15.1 – Diagrama Triangular de Piper

Período chuvoso

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 8.3**, é possível identificar que as águas do aquífero Itaituba no período chuvoso (abril de 2012), no que se refere aos ânions são cloretadas, e no que concerne a presença de cátions são sódicas.

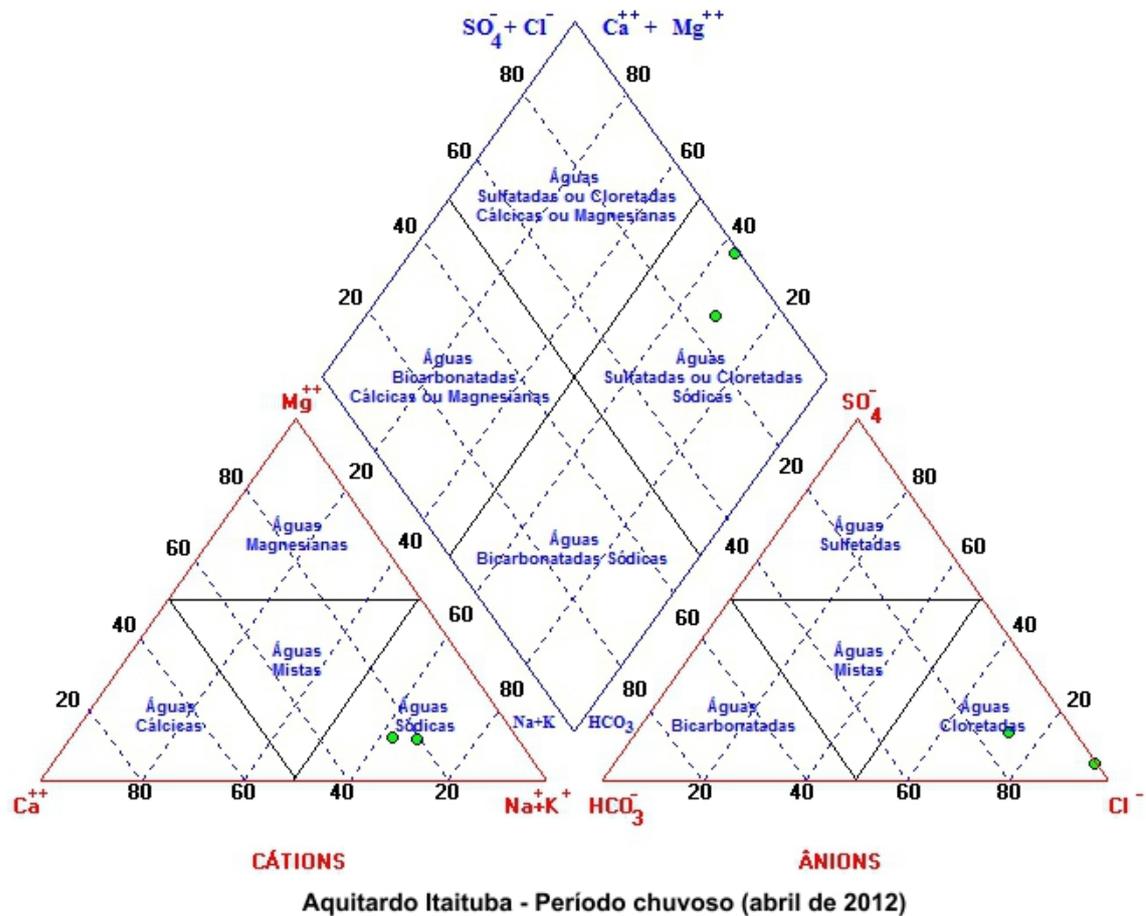


Figura 8.3 – Classificação das águas do aquífero Itaituba no período chuvoso (abril de 2012), segundo o diagrama Triangular de Piper.

Período de estiagem

De acordo com a **figura 8.4** verifica-se que as águas do aquífero Itaituba no período seco (outubro de 2012), quanto à presença de ânions são bicarbonatadas e cloretadas, e com relação aos cátions são cálcicas e sódicas.

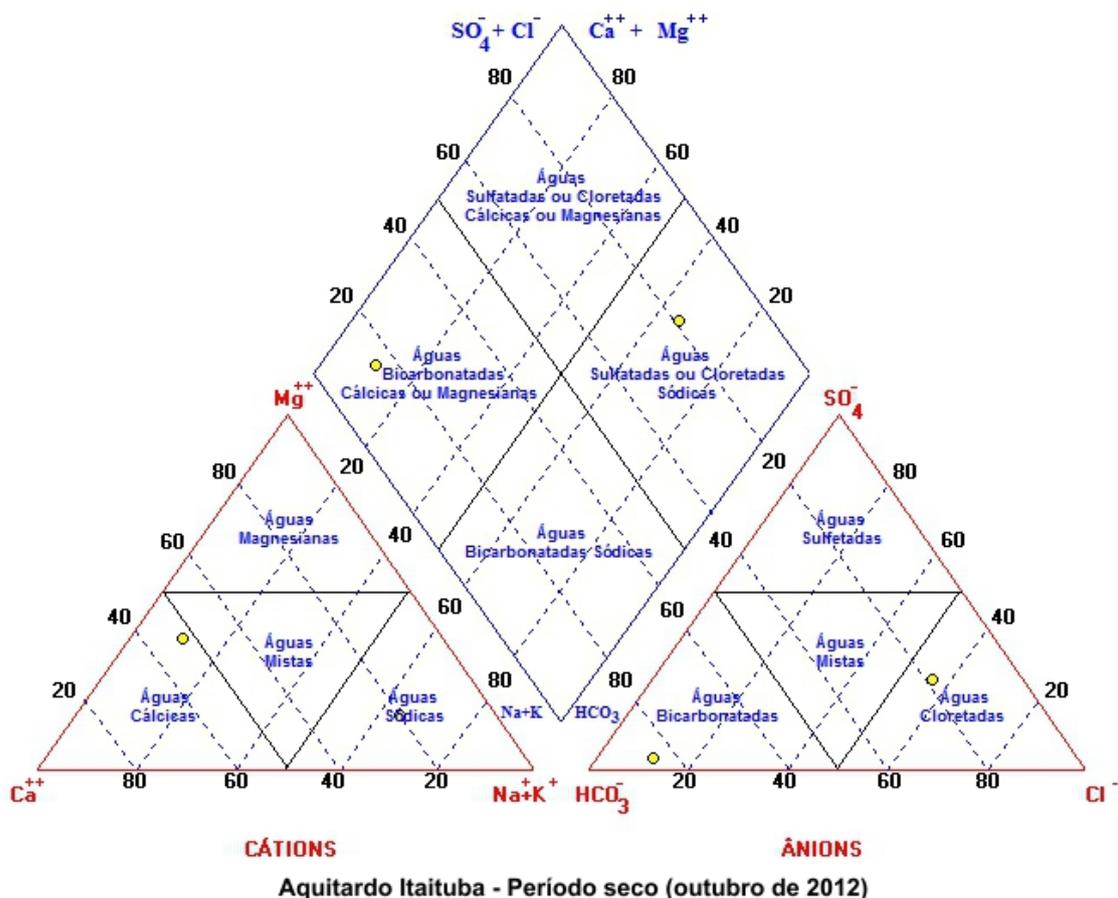


Figura 8.4 – Classificação das águas do aquífero Itaituba no período seco (outubro de 2012), segundo o diagrama triangular de Piper.

Mediante análise dos dados das duas campanhas de amostragem avalia-se que a maioria das águas do aquífero Itaituba são cloretadas sódicas.

8.6.15.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012 no aquífero Itaituba, foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos, os íons predominantes em cada um dos poços analisados.

Na primeira campanha, os resultados sugerem que as águas do aquífero Itaituba são do tipo cloretada sódica (**figura 8.5**); enquanto que na segunda campanha, os resultados obtidos indicam a presença de água bicarbonatada cálcica (**figura 8.6a**) e cloretada sódica (**figura 8.6b**).

Aquitardo Itaituba (Águas Cloretadas Sódicas) – abril de 2012

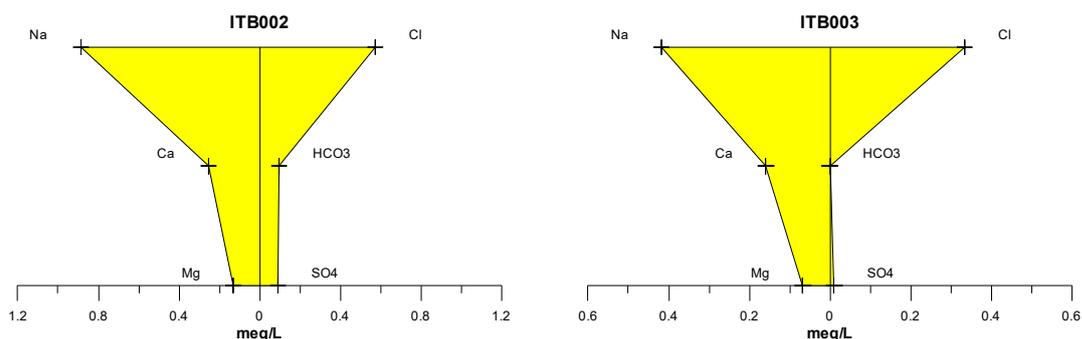


Figura 8.5 – Águas cloretadas sódicas classificadas segundo os diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquitardo Itaituba.

Aquitardo Itaituba (Água Bicarbonatada Cálcica) – outubro de 2012

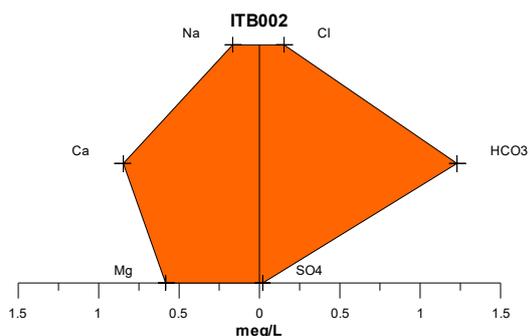


Figura 8.6a – Água bicarbonatada cálcica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em outubro de 2012 no aquitardo Itaituba.

Aquitardo Itaituba (Água Cloretada Sódica) – outubro de 2012

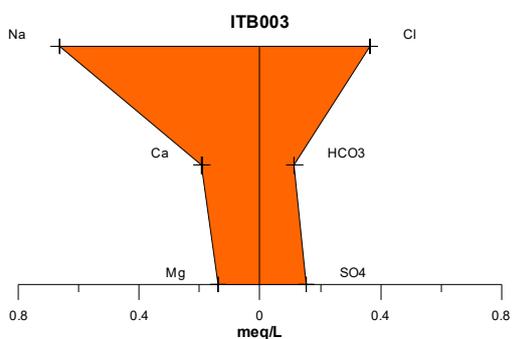


Figura 8.6b – Água cloretada sódica classificada segundo o diagrama de Stiff, com base em amostra de água coletada em outubro de 2012 no aquitardo Itaituba.

8.6.16 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquitardo Itaituba Segundo o Uso

8.6.16.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano

A potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Itaituba para consumo humano, avaliada através do Diagrama de Schoeller-Berkaloff, é apresentada na **figura 8.7** para o período chuvoso e na **figura 8.8** para o período de estiagem. Em ambos os períodos verifica-se que a potabilidade se classifica como boa. Além disso, é possível notar que os parâmetros cloreto e sulfato estão abaixo do VMP recomendado pela Portaria MS 2914/2011.

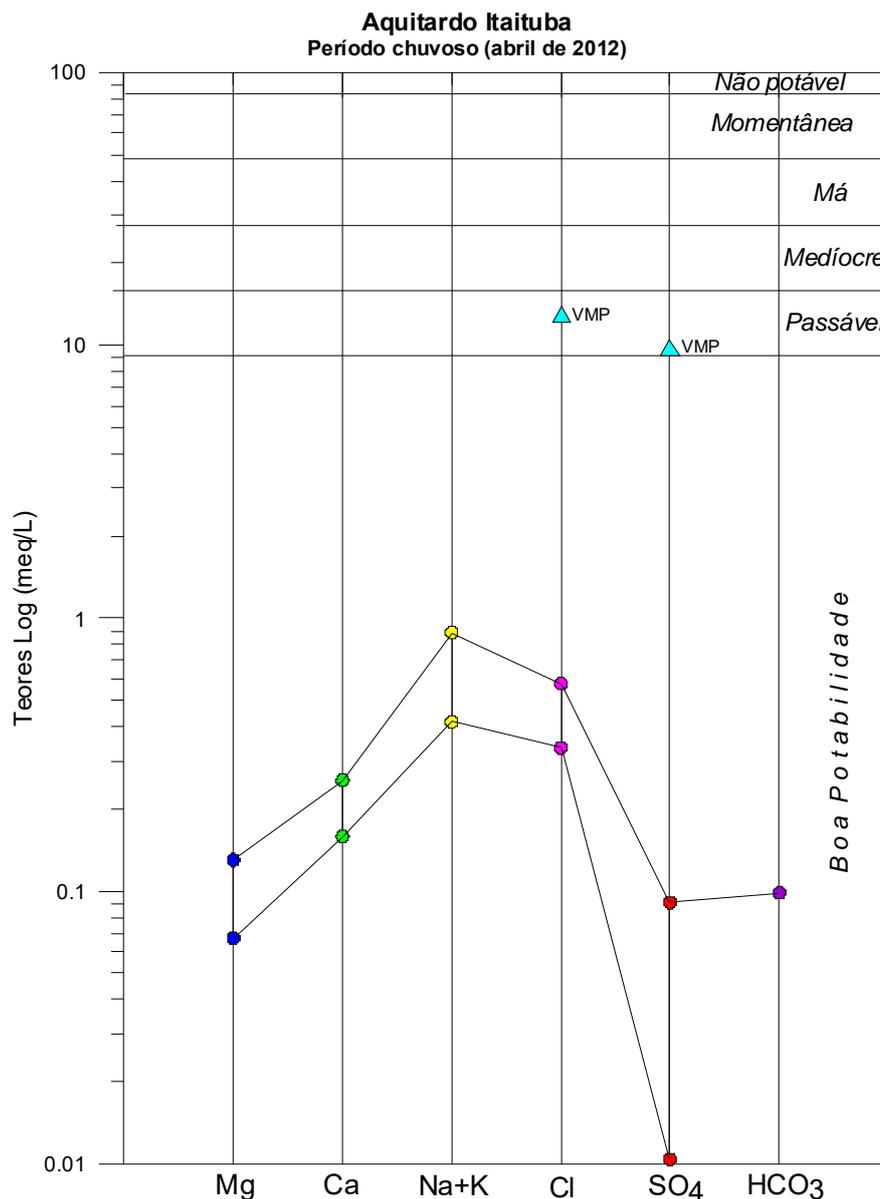


Figura 8.7 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Itaituba no período chuvoso (abril de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

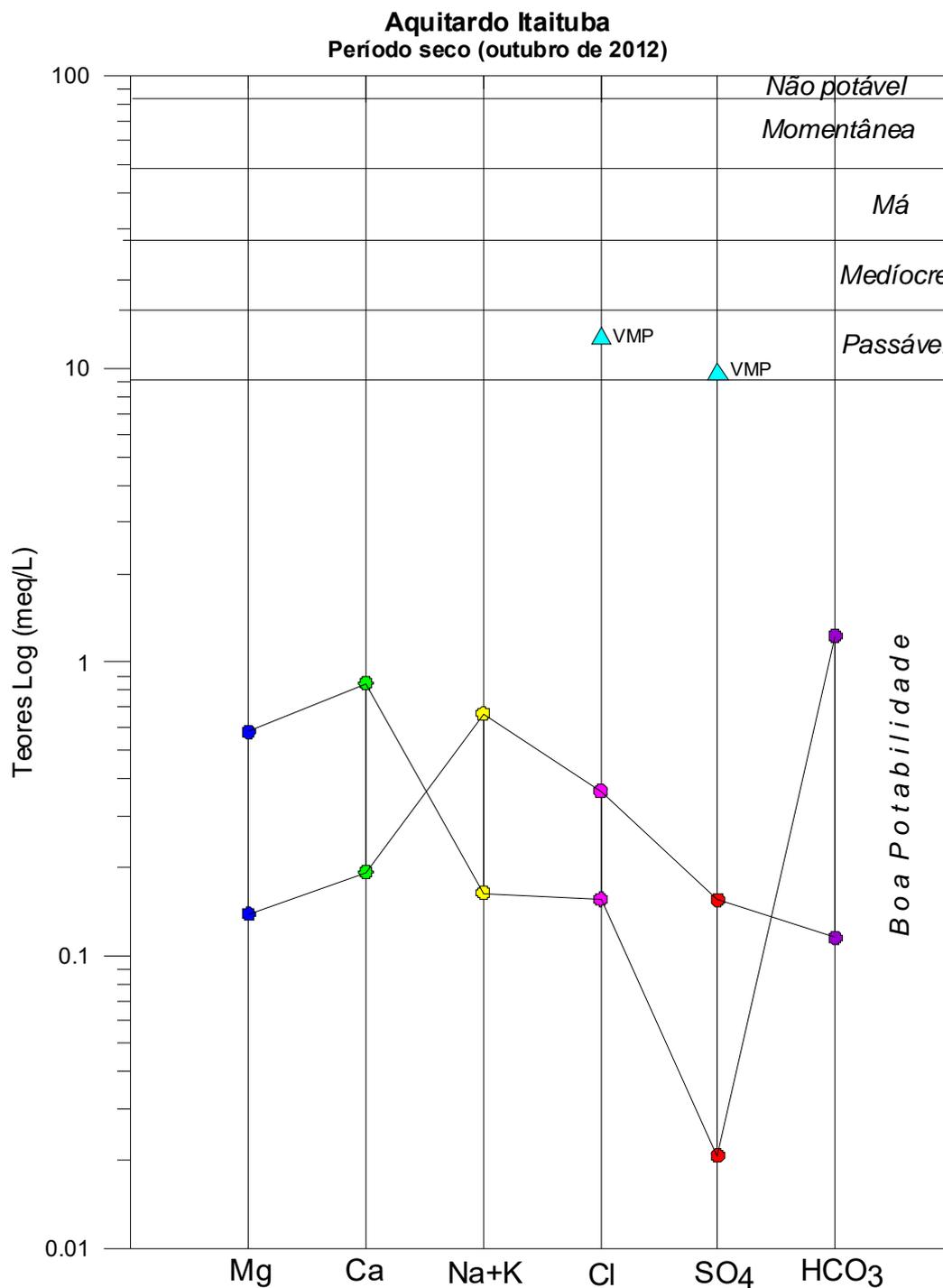


Figura 8.8 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquitardo Itaituba no período de estiagem (outubro de 2012), segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

8.6.16.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação

Para a avaliação das águas do aquitardo Itaituba quanto ao uso na irrigação foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na

condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

Período chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que no período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Itaituba apresentaram risco de sódio baixo, ou seja, classificação S₁, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais. Quanto à salinidade, verificou-se que as águas apresentaram a classificação C₁, indicativa de águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca (**figura 8.9**).

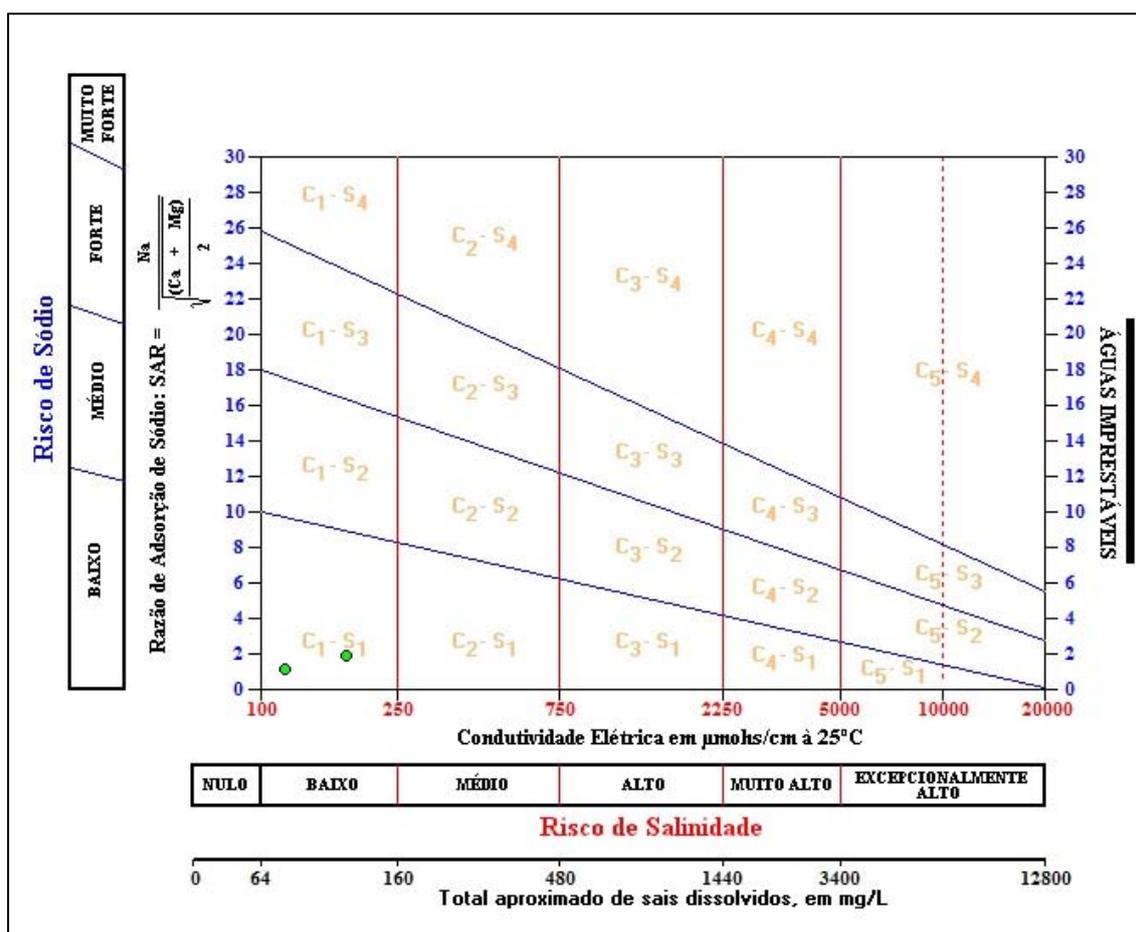


Figura 8.9 – Classificação das águas do aquífero Itaituba para fins de irrigação – abril de 2012.

Período de estiagem

No período seco (outubro de 2012), as águas do aquífero Itaituba apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S₁, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais. Com relação à salinidade, as águas apresentaram a classificação C₁, águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas (**figura 8.10**).

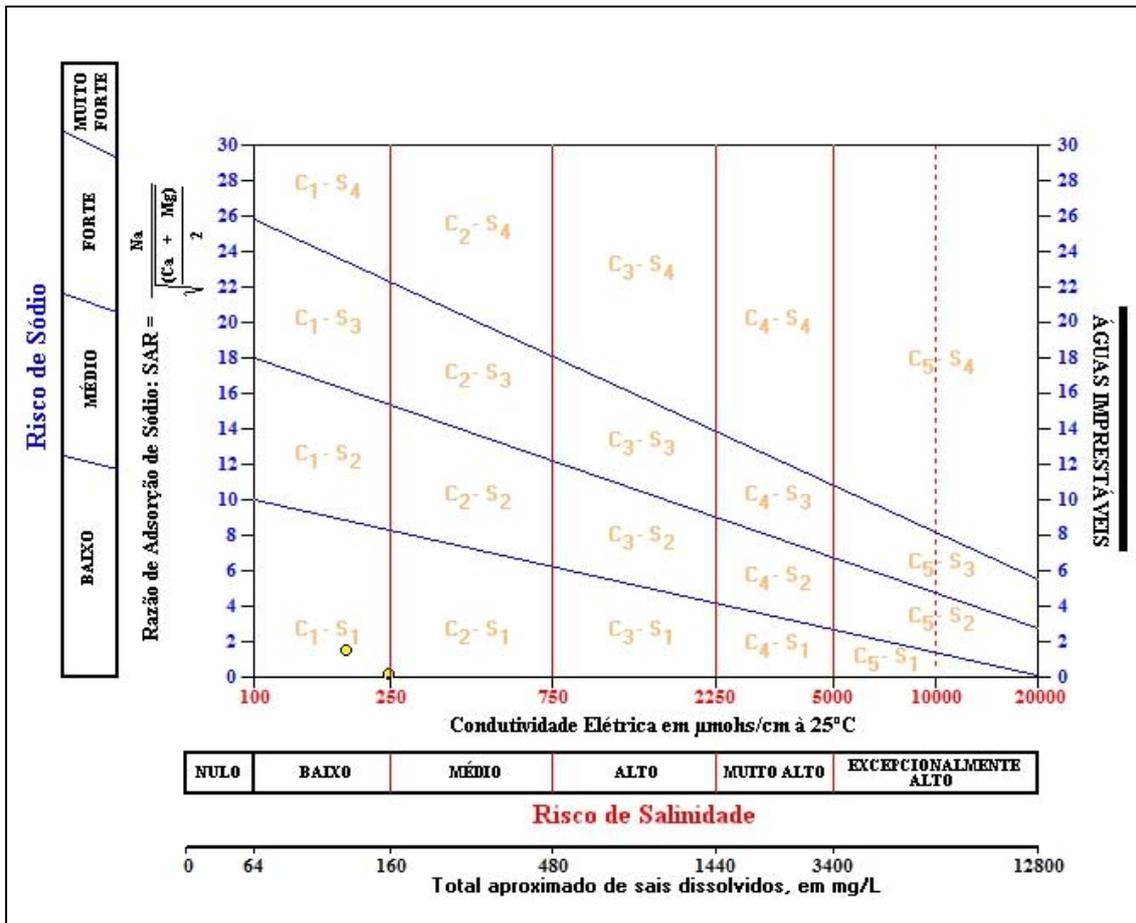


Figura 8.10 – Classificação das águas do aquífero Itaituba para fins de irrigação – outubro de 2012.

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram águas com risco de sódio baixo e salinidade fraca, indicando que as águas podem ser usadas para cultivar boa parte dos vegetais (**tabela 8.30**).

Tabela 8.30 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.

Nome	Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
	Classe USSL	Risco		Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio		Salinidade	Sódio
ITB002	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
ITB003	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo

8.6.16.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas no aquífero Itaituba nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 8.31**.

Tabela 8.31 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima, é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 137 e 165 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

8.6.17 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquitardo Itaituba

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquitardo Itaituba indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações, devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, com exceção dos parâmetros nitrato e amônia que se deve a fatores antrópicos e o manganês por conta da geologia local.

A presença de alguns parâmetros físico-químicos analisados sugere contaminações de ordem antrópica, a exemplo do nitrato e amônia.

A análise dos parâmetros físico-químicos coletados nas duas campanhas de amostragem realizadas em abril e outubro de 2012 revelou teores mais elevados no período de estiagem para os elementos: CE, STD, cálcio, magnésio, bicarbonato, dureza, ferro e manganês.

Alguns parâmetros, a exemplo da cor e nitrito não foi verificada influência da sazonalidade, pois a maioria dos resultados estava abaixo do limite de detecção.

Não foi possível avaliar a influência da sazonalidade nos parâmetros turbidez, temperatura, sódio, potássio, Eh, cloreto, sulfato e nitrato, pois o aquitardo Itaituba só possui análises de 2 (dois) poços.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença de Coliformes totais e de *E. Coli* nas duas campanhas, o que corresponde à contaminação das águas subterrâneas por fossas sépticas, devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares são construídos com técnicas inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção sanitária.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que as águas são levemente ácidas no período chuvoso devido a maior contribuição da infiltração das águas dos aquíferos sobrepostos (Aluviais), enquanto que no período seco são alcalinas, devido a maior influência da litologia carbonática do aquitardo Itaituba.

Os resultados de isótopos ambientais revelaram que não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteorica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem a 1 (um) único ponto de amostragem.

Segundo as datações efetuadas com Trício, as águas do aquífero Itaituba têm mistura de água submoderna com recarga recente.

A datação radiométrica de carbono-14 revelou a presença de paleoáguas, com tempo de residência superior a 200 anos, o que sugere a existência de águas mais antigas armazenadas no aquífero Itaituba.

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas do aquífero Itaituba são Cloretadas Sódicas e Bicarbonatadas Cálcicas por indicação dos diagramas de Piper e Stiff; e de boa potabilidade, segundo diagrama de Schoeller-Berkaloff.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação, verifica-se que as águas do aquífero Itaituba possuem risco de sódio baixo e salinidade fraca, indicando que as águas podem ser usadas para o cultivo de boa parte dos vegetais.

As águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixos.

9 – Hidrogeoquímica do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul)

9.1 - Introdução

No contexto regional, o aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) está localizado na Província Amazonas, que representa uma das bacias sedimentares fanerozoicas do Brasil (CPRM, 2003). No contexto local, o aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) está situado na Bacia do Solimões.

A Bacia do Solimões localiza-se na região norte do Brasil, nos Estados do Amazonas, Rondônia, Acre e Roraima. Trata-se de uma bacia paleozoica intracratônica com cerca de 950.000 km² de área sedimentar total, dos quais 480.000 km² correspondem à área prospectável para petróleo (Barata & Caputo, 2007).

A Bacia do Solimões foi implantada em rochas cristalinas e sedimentares proterozoicas da Província Amazônica Central, sendo subdividida em sub-bacia de Jandiatuba, a Oeste, e do Juruá, a Leste, separadas pelo Alto de Carauari. A sequência sedimentar compreende Terciário, Cretáceo, Permiano, Carbonífero, Devoniano, Siluriano e Ordoviciano (Vieira *et al.*, 2005).

A Formação Cruzeiro do Sul foi definida primeiramente referindo-se aos sedimentos arenosos que se encontram sobrepostos aos terraços inferiores, localizados nas imediações da cidade de Cruzeiro do Sul, no Estado do Acre, correspondendo ainda à porção superior da Formação Ramon (Bouman, 1959). Para Barros *et al.* (1977) e demais levantamentos do Projeto RadamBrasil na região, tais sedimentos plio-pleistocênicos existentes a leste da Serra do Divisor pertencem à Formação Solimões (Caputo, 1973) e aqueles que ocorrem a oeste desta, à Formação Ramon.

A Formação Cruzeiro do Sul ocorre sobreposta a feições tipo terraço, sendo sua maior exposição localizada a sudoeste da cidade de Cruzeiro do Sul, na confluência dos Rios Moa e Juruá. Ocorre ainda ao Sul até próximo à cidade de Porto Walter. São sedimentos depositados por correntes fluviais, flúvio-lacustres e em leques aluviais, compostos por arenitos finos, friáveis, maciços, argilosos, coloração amarelo-escura, rosada e esbranquiçada, com intercalações de argilitos lenticulares e estratificação cruzada, sobretudo em sua porção inferior (Cavalcante, 2005).

A Formação Cruzeiro do Sul ainda é pouco estudada em suas características específicas, devido a sua recente criação a partir da Formação Solimões. Por tal motivo decidiu-se, no âmbito do Projeto PHA, utilizar a denominação de aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), pois ainda há controvérsias na área acadêmica quanto a sua denominação, o que requer estudos mais aprofundados na região, inclusive com sondagens para definição mais concreta quanto a sua terminologia e potencialidades.

A Formação Cruzeiro do Sul tem idade eopermiana com natureza química evaporítica e carbonática. Depositada em ambiente multicíclico marinho transicional e continental, consiste de calcarenito bioclástico fino e calcilutito cinza claro na parte inferior, que passa para intercalações de marga, folhelho calcífero preto e camada de anidrita branca na parte superior.

No poço 2-CDST-1-AC (Cruzeiro do Sul 1), situado cerca de 12 km ao sul da cidade do mesmo nome, à margem esquerda do rio Juruá, a Formação Cruzeiro do Sul se encontra a grande profundidade, no intervalo de 2.638 a 2.520 m, sendo constituída de calcários com intercalações de folhelhos. Acima

desta seção, no intervalo de 2.520 a 1.326 m, estão as camadas cretácicas (Moa, Rio Azul, Divisor e Ramon), sotopostas ao pacote Repouso-Solimões no intervalo de 1.326 a 25 m, acima do qual ocorre a Formação Içá. No referido pacote ocorrem intercalações de calcários no intervalo de 550 a 400 m. A parte oriental da bacia do Acre apresenta uma área de subafloramentos de carbonatos (plataforma carbonática) relativamente extensa sob as camadas cretácicas, cuja espessura total alcança 1.194 m no poço estratigráfico de Cruzeiro do Sul (2-CDST-1-AC). Embora esta seja uma região de falhas ativas até os dias atuais, com ocorrência de terremotos, não há como garantir, na escala do presente projeto, que as litologias encontradas nos poços catalogados do SIAGAS na cidade de Cruzeiro do Sul (**tabela 9.1**) sejam da Formação Cruzeiro do Sul.

Acredita-se que a denominação foi dada devido o fato dos poços estarem localizados na cidade de Cruzeiro do Sul e não por estarem situados na Formação Cruzeiro do Sul, pois até o momento, os mapeamentos regionais conhecidos têm indicado, em superfície, a ocorrência da Formação Solimões (parte superior do pacote Repouso-Solimões), na qual o perfil do poço estratigráfico de Cruzeiro do Sul revela a presença de intercalações de calcários, entre as profundidades de 550 e 400 m, como já mencionado.

Dos perfis analisados no SIAGAS, 74% (17/23) são litológicos e construtivos e 26% (6/23) são apenas litológicos, o que sugere serem poços que não foram completados. Em 20 (vinte) poços, a litologia dominante é de argilas calcíferas e calcários intercalados com camadas de arenito. O percentual de arenitos varia de 5% a 41%, com média de 21%, o que permitiria classificar a UHF captada pelos poços como aquífero Repouso-Solimões.

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) na cidade de Cruzeiro do Sul – AC, foram realizadas duas campanhas de amostragem: uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses.

Ambas as campanhas seguiram as metodologias recomendadas por Barcelona *et al.* (1985), Puls & Barcelona (1989), Keith (1996), Feitosa & Manoel Filho (2000) e Nielsen & Nielsen (2007). Além dessas referências, também foi utilizado o Protocolo de Guia de Coleta de Amostra (GCA), elaborado pelo laboratório Bioagri Ambiental, que pode ser visualizado no **Anexo 12.8**.

Tabela 9.1 – Análise de 23 perfis de poços catalogados do SIAGAS em 2015 na cidade de Cruzeiro do Sul – AC, com indicação de produtividade, porcentagem de arenitos e profundidade do topo dos filtros.

Poço	Unidade Hidrogeológica de Fluxo (UHF)	Profundidade (m)	Arenito (m)	Profundidade média (m)	Vazão (m³/h)	Produtividade (m³/h/m)	Litologia	Pelitos	% arenito	Média % arenito	Topo Filtros (m)	Nível Dinâmico (m)	Nível Estático (m)
AC2617	Aquitardo Repouso-Solimões	150	7	143	9,3	0,959	areia e argila arenosa, calcíferas	143	5	21	26	12,4	2,7
AC1650	Aquitardo Repouso-Solimões	180	16		66,6	1,081	areia, argila calcífera	164	9		16	72	10,4
AC1658	Aquitardo Repouso-Solimões	150	19		35,6	0,943	argila calcífera, argila, arenito	131	13		3	54	15,25
AC2615	Aquitardo Repouso-Solimões	150	22		18	2,813	solo calcífero, areias e argilas calcíferas	128	15		32	22,78	16,38
AC1665	Aquitardo Repouso-Solimões	130	20		3,4	0,081	argila calcífera, interc. arenito	110	15		23	55	13
AC2294	Aquitardo Repouso-Solimões	150	24		-	-	argila, interc. areia fina	126	16		-	-	-
AC2616	Aquitardo Repouso-Solimões	150	28		12	0,225	areia e argila calcíferas	122	19		22	80,49	27,2
AC1663	Aquitardo Repouso-Solimões	150	29		35	0,854	calcário, interc. arenito, argila	121	19		23	58	17
AC1656	Aquitardo Repouso-Solimões	120	24		-	-	calcários, interc. argila, arenitos	96	20		30	-	-
AC2297	Aquitardo Repouso-Solimões	150	30		-	-	argila, interc areia fina, calcífera	120	20		60	-	-
AC1663	Aquitardo Repouso-Solimões	150	31		-	-	areia, argila variegada	119	21		-	58	17
AC1652	Aquitardo Repouso-Solimões	150	32		33	0,724	areia, arenito, argila, argila calcífera	118	21		19	56	10,4
AC1654	Aquitardo Repouso-Solimões	150	33		35,6	0,774	calcários, interc. Arenito, argila	117	22		23	64	18
AC1659	Aquitardo Repouso-Solimões	130	29		33	1	argila calcífera, argila, arenito	101	22		23	50	17
AC1649	Aquitardo Repouso-Solimões	150	35		33	1,32	areia, argila calcífera	115	23		31	40	15
AC1651	Aquitardo Repouso-Solimões	150	38		-	-	areia, argila calcífera	112	25		-	40	15
AC2759	Aquitardo Repouso-Solimões	92	28		8,68	0,998	argila, interc. areia argilosa	64	30		40	14,75	6,05
AC1655	Aquitardo Repouso-Solimões	134	42		-	-	argila calcífera, intercalações arenito	92	31		-	-	-
AC1662	Aquitardo Repouso-Solimões	134	46		28	0,966	calcário, intercalações arenito	88	34		19	45	16
AC1648	Aquitardo Repouso-Solimões	150	62		44	2,588	areia, argila calcífera	88	41		27	33	16
AC2760	Aquífero Içá	71	58	79	0,76	0,035	areia fina, média, argila arenosa	13	82	90	51	47,3	25,52
AC2758	Aquífero Içá	87	77		8,68	1,391	areia fina, interc. Argila	10	89		63	27,25	21
AC2757	Aquífero Içá	80	80		9	3	areia fina	0	100		56	29,07	26,07

Os Laboratórios responsáveis pelas análises no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), juntamente com os poços avaliados, o quantitativo de amostras, os tipos de análises e os parâmetros analisados, encontram-se listados abaixo:

Laboratório da Bioagri Ambiental:

- 05 (cinco) Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas - cor, turbidez, condutividade elétrica (CE), temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, cloreto, sulfato, Eh, bicarbonato, nitrogênio (amoniacal, orgânico e total), nitrito, nitrato, ferro e manganês, Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*).

Laboratório de Geocronologia do Instituto de Geociências da UnB:

- 02 (duas) Análises de Isótopos Ambientais Estáveis - deutério e oxigênio-18.

Laboratório do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CTDN), da UFMG:

- 02 (duas) Análises do Isótopo Ambiental Radioativo - trício.

Os resultados dessas análises para as duas campanhas podem ser verificados no **Anexo 12.7**.

O aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) só possui 05 (cinco) pontos de amostragem e desse modo não foi possível realizar distribuição de probabilidade por meio de modelagem geoestatística para definir se há ou não influência da sazonalidade para o parâmetro físico-químico analisado. Sendo assim, foram utilizados os dados de média, mediana e valores máximos para tal fim. Nos casos em que não há comportamento definido pelas médias, medianas e valores máximos efetuou-se análise comparativa entre os dados das duas campanhas de modo a observar o comportamento dominante.

9.2 - Balanço Iônico

Os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas de amostragem do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) foram submetidos a avaliações pelo cálculo do balanço de cátions e ânions, conforme metodologia descrita no **item 1.7**.

Período Chuvoso

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que no período chuvoso (abril de 2012), 100% (5/5) das amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) apresentaram Ep fora dos critérios da metodologia do balanço iônico nº 1 e nº 2 (**tabela 9.2**).

Tabela 9.2 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) – abril de 2012.

Poço	CE (µS/cm)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço iônico nº 1	Balanço iônico nº 2
CZS01	301	5,25	2,56	69,04	34,52
CZS02	52	0,57	0,19	102,45	51,23
CZS03	147	2,92	1,6	58,69	29,35
CZS04	130	1,45	1,19	19,89	9,95
CZS05	107	1,01	0,17	141,9	70,95

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Período de Estiagem

Segundo os dados coletados no período seco (outubro de 2012), observa-se que 100% (5/5) das amostras obtiveram resultados fora dos padrões de Ep, de acordo com as metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2 (**tabela 9.3**).

Tabela 9.3 – Resultado do balanço iônico realizado no Qualigraf, para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) – outubro de 2012.

Poço	CE (µS/cm)	Soma Cátions (meq/L)	Soma Ânions (meq/L)	Erro Prático - EP (%)	
				Balanço iônico nº 1	Balanço iônico nº 2
CZS01	319	3,33	1,12	99,46	49,73
CZS02	51	0,4	0,05	153,77	76,89
CZS03	71	1,95	1,14	52,4	26,2
CZS04	135	1,45	0,93	44,02	22,01
CZS05	111	1,05	2,05	64,23	32,11

Legenda:

Valores destacados em vermelho possuem os maiores Ep de acordo com os critérios estabelecidos nas metodologias do balanço iônico nº 1 e nº 2, respectivamente.

Os resultados de Ep superiores a 30% podem indicar erro analítico ou de cálculo, presença de certos íons não analisados na água em concentrações apreciáveis e/ou águas pouco mineralizadas, tais como água da chuva.

Os métodos analíticos padrões para baixas concentrações iônicas podem levar a valores elevados de erros (Ep %), sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (Schoeller, 1955 *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000). As águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) se enquadram como pouco mineralizadas, uma vez que os valores máximos de STD alcançados respectivamente na primeira e segunda campanha foram de 212 mg/L e 197 mg/L, ou seja, concentrações muito baixas quando comparadas ao VMP desse parâmetro para consumo humano, segundo a Portaria MS 2914/2011, que é de 1.000 mg/L. Convém destacar ainda que as concentrações de STD, assim como dos íons sódio (Na^+), Cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}) foram expressas em partes por bilhão (ppb) ou µg/L. Além disso, alguns valores situados abaixo do limite de detecção indicados, por exemplo, como (<1), foram considerados

no cálculo do erro, como 1 µg/L (o valor pode ser qualquer outro abaixo de 1) e para a base de cálculo a concentração foi convertida para mg/L (ppm).

Conclui-se, assim, que os erros detectados nas amostras do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) não comprometem os resultados analíticos obtidos, pois segundo Younger (1995), os maiores erros de balanço iônico estão associados a águas pouco mineralizadas (como a água da chuva), ou seja, muito diluídas e, também, a águas muito mineralizadas, cujo erro no balanço iônico pode ser reflexo das determinações de cloreto, pois para altas concentrações de ferro pode haver formação de complexos de ferro total que mascaram o ponto final da titulação.

9.3 - Índice de Troca de Bases (ITB)

O ITB das duas campanhas de amostragem do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) foi estimado conforme metodologia descrita no **item 1.8**.

De acordo com os resultados de ITB calculados verifica-se que 100% (5/5) das amostras nas duas coletas forneceram valores negativos (**tabela 9.4**). Isto revela maior presença dos íons alcalinos (sódio e potássio) em relação ao íon cloreto em solução, o que sugere o abrandamento das águas subterrâneas, ou seja, troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ (**figuras 9.1 e 9.2**).

Tabela 9.4 – Resultado do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas.

Poço	ITB - abril de 2012 (meq/L)	ITB - outubro de 2012 (meq/L)
CZS01	-32,54	-61,82
CZS02	-1,50	-1,81
CZS03	-16,11	-32,60
CZS04	-15,28	-24,24
CZS05	-14,60	-30,38

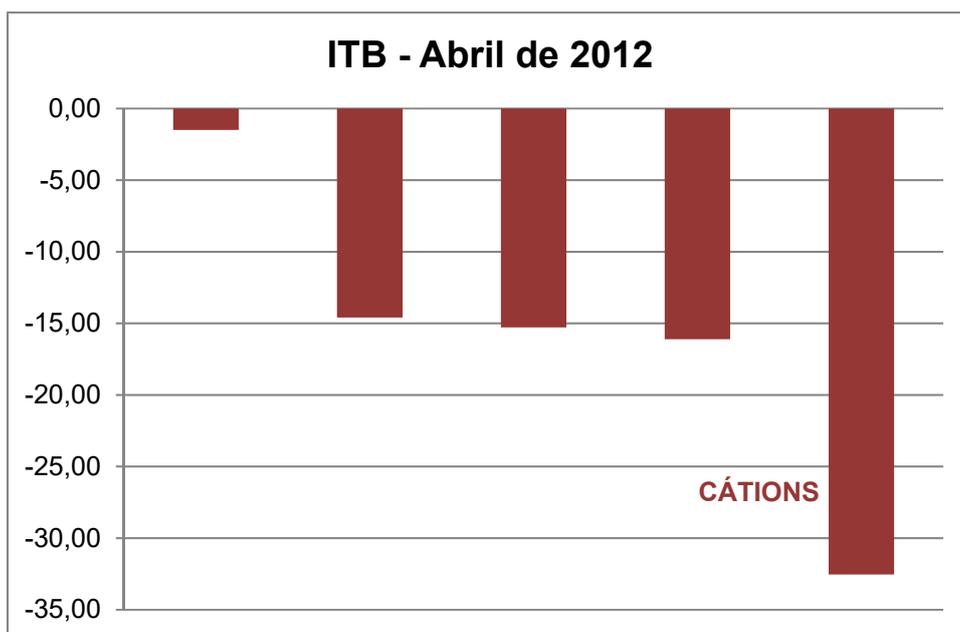


Figura 9.1 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso, com o predomínio de cátions.

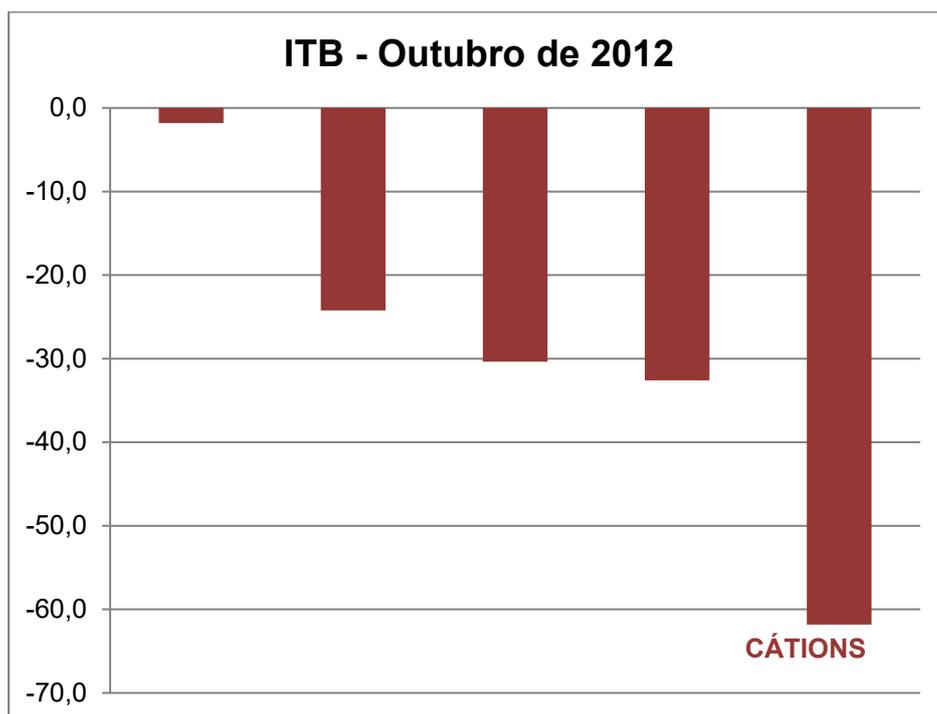


Figura 9.2 – Ilustração dos resultados de ITB calculados para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período de estiagem, com o predomínio de cátions.

Os valores de ITB obtidos nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas estão coerentes, pois segundo Teixeira (2002), o enriquecimento em alcalinos aumenta a diferença $Cl - (Na + K)$, numerador na equação de Schoeller (1962), o que torna mais negativos os valores de ITB.

Na **tabela 9.5** é apresentada a estatística descritiva dos resultados de ITB calculados, onde se verifica que os valores mínimo e máximo obtidos foram de

-32,54 e -1,50, -61,82 e -1,81 para as coletas de abril e outubro de 2012, respectivamente.

Tabela 9.5 – Parâmetros estatísticos dos resultados do Índice de Troca de Bases para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas.

Parâmetros Estatísticos	ITB (Abril de 2012)	ITB (Outubro de 2012)
Média	-16,01	-30,17
Erro padrão	4,93	9,61
Mediana	-15,28	-30,38
Desvio padrão	11,03	21,49
Variância da amostra	121,60	461,77
Curtose	2,06	1,68
Assimetria	-0,45	-0,36
Intervalo	31,04	60,01
Mínimo	-32,54	-61,82
Máximo	-1,50	-1,81
Soma	-80,03	-150,85
Contagem	5	5
Nível de confiança (95%)	13,69	26,68

Os resultados de ITB negativos obtidos em ambas as campanhas são justificáveis por conta dos elevados índices pluviométricos da região amazônica, que favorecem a diluição dos compostos químicos em solução na água, o que implica no abrandamento das águas com troca de cálcio e magnésio por sódio, tanto no período chuvoso quanto na estiagem.

9.4 - Razões Iônicas

De acordo com a metodologia de Hem (1985), descrita no **item 1.9**, foi possível estimar as razões iônicas em meq/L para as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas de amostragem, de modo a avaliar a sua composição hidrogeoquímica.

A **tabela 9.6** mostra os resultados das principais razões iônicas para as duas campanhas realizadas no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012).

A razão rMg^{2+}/rCa^{2+} indica que 20% e 40% dos poços, nas campanhas de abril e outubro de 2012, respectivamente possuem águas de circulação em rocha de composição granítica. Tal razão também mostrou que 40% dos poços na segunda campanha contêm águas continentais.

A razão rNa^+/rCl^- sugere que 100% dos poços nas duas campanhas de amostragem contêm águas que possuem fluxo através de rochas cristalinas ou vulcânicas.

A razão iônica $rCl^-/rHCO_3^-$ mostrou que 20% dos poços na primeira campanha contêm águas continentais; e 20% dos poços na segunda campanha contêm águas com ausência de íon bicarbonato.

A sugestão de que as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) são continentais e possuem rochas de composição granítica não se aplica a área

de estudo, haja vista que segundo Feijó & Souza (1994), na formação Cruzeiro do Sul estão presentes rochas sedimentares neopaleozoicas, mesozoicas e cenozoicas. Acredita-se que os valores maiores, inclusive anômalos nas razões iônicas, se devem a influência de atividade antrópica, uma vez que a área de estudo está localizada em área urbanizada.

Tabela 9.6 – Resultado das razões iônicas para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas.

Poço	Razões iônicas - Período chuvoso			Razões iônicas - Período seco		
	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	$\frac{rMg^{2+}}{rCa^{2+}}$	$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$
CZS01	0,07	32,04	0,02	0,29	61,42	0,03
CZS02	0,23	1,08	0,53	0,73	1,51	-
CZS03	0,07	10,80	0,02	0,24	27,27	0,01
CZS04	0,28	9,79	0,02	0,26	19,74	0,02
CZS05	0,24	10,69	0,21	0,36	24,94	0,01

Legenda:

Os valores simbolizados com (-) são indefinidos (divisão por zero), pois se referem a ausência de bicarbonato, na razão iônica cloreto/bicarbonato.

9.5 - Índice de Langelier

Com base na metodologia de Snoeyink & Jenkins (1980), descrita no **item 1.10**, foi possível estimar o índice de saturação (IS) para as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas de amostragem para verificar se a água está ou não em equilíbrio com a calcita e classificá-la de acordo com a tendência de IS, apresentada na **tabela 1.6**.

Os valores de IS calculados com base nas amostras de água subterrânea coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), no período chuvoso (abril de 2012) e no período seco (outubro de 2012), podem ser observados na **tabela 9.7**.

Em ambas as campanhas de amostragem, 80% dos poços apresentaram resultados de IS negativos, o que sugere que as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) não possuem características incrustantes.

Os resultados mostram que no período chuvoso o IS variou de -0,98 a 0,84 e no período seco de -4,04 a 0,08, indicando águas subsaturadas em relação à calcita e com tendência a dissolver $CaCO_{3(s)}$. Isto ocorre porque as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) são ácidas, com pH mínimo de 6,6 no período chuvoso e de 5,0 no período de estiagem, o que tende a dissolver a calcita, caso ela esteja presente.

Tabela 9.7 – Resultado do Índice de Saturação (IS) para as amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas.

Poço	IS - 1 (Abril de 2012)	IS - 2 (Outubro de 2012)
CZS01	0,84	0,08
CZS02	-0,51	-4,04
CZS03	-0,27	-0,75
CZS04	-0,82	-0,92
CZS05	-0,98	-0,90

9.6 – Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul)

9.6.1 – Cor

A estatística descritiva da cor, realizada seguindo a metodologia definida no **item 1.6**, é apresentada na **tabela 9.8**. Os resultados obtidos no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) na primeira campanha mostraram em 100% (5/5) das amostras coletadas, valores de cor < 5, ou seja, inferiores ao LD (limite de detecção). Na segunda campanha, 60% (3/5) das amostras apresentaram valores de cor abaixo do limite de detecção de 5 uH.

Em ambas as campanhas de amostragem, os teores de cor não ultrapassam o VMP da Portaria MS 2914/2011 descrita no **item 2.1**.

Tabela 9.8 – Estatística descritiva da Cor do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Cor-1) - abril de 2012 e no período seco (Cor-2) – outubro de 2012.

Cor	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Cor-1	5	4,90	-	-	4,90	4,9	4,9	0,00	0,00	0,00
Cor-2	5	6,94	3,36	10,52	4,90	4,9	11,0	2,88	1,29	0,87

Com base nos dados verifica-se que o parâmetro cor não sofre influência da sazonalidade, pois quase todas as amostras, em ambas as campanhas, apresentaram valores abaixo do limite de detecção.

9.6.2 – Turbidez

A estatística descritiva apresentada na **tabela 9.9** mostra que os valores de turbidez no período chuvoso variaram de 0,48 a 9,0 uT, com média de 3,84 uT e mediana de 0,66 uT; enquanto que no período seco, os valores se distribuíram entre 0,09 a 10 uT, com média igual a 2,36 uT e mediana de 0,24 uT.

Na segunda campanha de amostragem, 40% (2/5) dos poços apresentaram valores de turbidez abaixo do LD (limite de detecção) de 0,1 uT.

Cerca de 40% (2/5) dos poços na primeira campanha e 20% (1/5) na segunda campanha apresentaram valor de turbidez acima do VMP de potabilidade da Portaria MS 2914/2011 (**item 2.2**).

Tabela 9.9 – Estatística descritiva da Turbidez do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Tu-1) - abril de 2012 e no período seco (Tu-2) – outubro de 2012.

Tu	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Tu-1	5	3,84	-1,73	9,41	0,66	0,48	9,0	4,48	2,01	0,61
Tu-2	5	2,36	-2,98	7,71	0,24	0,09	10,0	4,30	1,92	2,15

Com base nos dados de média e mediana obtidos verifica-se que os valores de turbidez são mais elevados no período chuvoso.

Isso ocorre principalmente na época de cheias, onde a água da chuva que escoar pelo solo, carrega consigo sedimentos que permanecem em suspensão na água tornando-a mais turva, a qual entra em contato com as águas subterrâneas por meio dos poços mal protegidos.

9.6.3 – Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), de acordo com a estatística descritiva (**tabela 9.10**), variou no ano de 2012 de 52 a 301 $\mu\text{S/cm}$ no período chuvoso, com média de 147,40 $\mu\text{S/cm}$ e mediana de 130 $\mu\text{S/cm}$. No período seco a variação entre o mínimo e o máximo foi de 51 a 319 $\mu\text{S/cm}$, com média de 137,40 e mediana de 111 $\mu\text{S/cm}$.

De modo geral, os valores de CE no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) são baixos e próximos, indicando que não há influência da sazonalidade. Isso provavelmente é reflexo do clima chuvoso e da frequência das chuvas na região, que assegura uma quase permanente renovação das águas dos aquíferos e dos rios na Amazônia.

Tabela 9.10 – Estatística descritiva da Condutividade Elétrica do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (CE-1) - abril de 2012 e no período seco (CE-2) – outubro de 2012.

CE	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CE-1	5	147,40	31,87	262,93	130,00	52,0	301,0	93,04	41,61	1,389
CE-2	5	137,40	4,89	269,91	111,00	51,0	319,0	106,72	47,73	1,725

Segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica depende da composição iônica dos corpos d'água e pode ser influenciado também pelo volume de chuvas, o que é bastante frequente na região estudada.

De acordo com Celligoi (1999), quanto à condutividade elétrica, as águas subterrâneas podem ser classificadas em água destilada, quando a CE varia de 0,5 a 2 $\mu\text{S/cm}$; água potável, quando a CE varia de 50 a 1.500 $\mu\text{S/cm}$; e água poluída, quando a CE é $> 10.000 \mu\text{S/cm}$. Nesse caso, as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), em ambos os períodos de coleta, podem ser classificadas como potáveis.

Segundo Custodio & Llamas (1983), a condutividade elétrica da água constitui um parâmetro físico que corresponde à quantidade de íons dissolvidos em seu meio e varia com a temperatura, mobilidade e valência dos íons presentes. Este parâmetro está intrinsecamente correlacionado à geologia de cada localidade, ou seja, o arcabouço de rochas, minerais e sedimentos que

constituem uma determinada região, os quais influenciarão diretamente os íons que vão compor as águas superficiais e subterrâneas.

Na região amazônica, segundo Campos (2003), valores de condutividade elétrica compreendidos entre 10 a 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ são considerados como *background* regional das águas subterrâneas, de modo que valores acima deste padrão indicam influência antrópica na qualidade das águas subterrâneas, que é o caso na região de Cruzeiro Sul.

9.6.4 – Temperatura

A estatística descritiva da temperatura das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) indica que no período chuvoso a temperatura das águas coletadas no aquífero variou de 25,6°C a 26,7°C, enquanto que no período de estiagem, as temperaturas variaram de 25,8°C a 26,9°C. Nas duas campanhas de amostragem, houve uma amplitude térmica de 1,1°C (**tabela 9.11**).

Tabela 9.11 – Estatística descritiva da Temperatura (°C) do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (T-1) - abril de 2012 e no período seco (T-2) – outubro de 2012.

T (°C)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
T-1	5	26,02	25,44	26,60	25,8	25,6	26,7	0,47	0,21	0,90
T-2	5	26,4	25,82	26,98	26,4	25,8	26,9	0,46	0,21	-0,23

Nas duas campanhas de amostragem, os valores de temperatura obtidos são muito próximos, indicando que não há influência da sazonalidade.

9.6.5 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os teores de STD nas águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), segundo a estatística descritiva mostrada na **tabela 9.12**, variam no período chuvoso de 38 a 212 mg/L, com média de 104,80 mg/L e mediana de 93 mg/L. No período de estiagem, o mínimo observado foi de 30 mg/L e o máximo de 197 mg/L, com média de 113 mg/L e mediana de 111 mg/L.

Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011 e da Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.5**), que recomenda o valor de 1.000 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade para consumo humano.

Tabela 9.12 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
STD-1	5	104,80	24,17	185,43	93,00	38,0	212,0	64,94	29,04	1,39
STD-2	5	113,00	36,07	189,93	111,00	30,0	197,0	61,96	27,71	0,04

Os valores de STD obtidos nas duas campanhas nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) são baixos e próximos, indicando que não há influência da sazonalidade. Isto pode ser justificado pela constante renovação das águas associada à elevada precipitação na região, típica da floresta amazônica, e da influência do intemperismo químico, conforme descreve o **item 1.12**.

9.6.6 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade (**item 2.6**). No caso específico do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) para os 05 poços cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é levemente ácido em algumas amostras no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo dentro do próprio poço, tende a atingir a neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

De acordo com a estatística descritiva mostrada na **tabela 9.13**, nas águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), os valores de pH *in situ* encontrados no período chuvoso ficaram compreendidos entre 6,6 e 8,2, com média de 7,15 e mediana igual a 6,83. No período seco, os valores oscilaram entre um mínimo de 5,0 e um máximo de 7,4, apresentando média de 6,40 e mediana de 6,54.

Tabela 9.13 – Estatística descritiva do pH *in situ* do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
pH-1	5	7,15	6,30	8,00	6,83	6,6	8,2	0,68	0,31	1,26
pH-2	5	6,40	5,34	7,46	6,54	5,0	7,4	0,85	0,38	-1,08

Com base nos dados de média e mediana verifica-se que os valores de pH *in situ* são mais ácidos no período de estiagem.

Os resultados obtidos no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) se devem a alta pluviosidade da região amazônica, pois a água da chuva é o principal agente do intemperismo químico, que infiltra e percola as rochas. De acordo com Teixeira *et al.* (2000), isso ocorre, pois a água da chuva é rica em O₂, que interage com o CO₂ da atmosfera e adquire caráter ácido, e em contato com o solo, onde a respiração das plantas pelas raízes e a oxidação da matéria orgânica enriquecem o ambiente em CO₂, diminuem ainda mais o seu pH.

9.6.7 – Potencial Redox (Eh)

A estatística descritiva do Eh no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), expressa na **tabela 9.14**, mostra que no período chuvoso os valores de Eh oscilaram entre 17,6 e 187,4 mV, com uma média de 108,66 mV e mediana de 131,60 mV. No período de estiagem, os valores oscilaram entre -34 e 263 mV, com média de 47,60 mV e mediana de -25,0 mV.

Tabela 9.14 – Estatística descritiva do Eh (mV) do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Eh-1) - abril de 2012 e no período seco (Eh-2) – outubro de 2012.

Eh (mV)	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Eh-1	5	108,66	22,90	194,42	131,60	17,6	187,4	69,06	30,89	-0,40
Eh-1	5	47,60	-109,77	204,96	-25,00	-34,0	263,0	126,74	56,68	1,77

No período chuvoso, 100% (5/5) das amostras apresentaram resultados de Eh positivo, enquanto que no período de estiagem, 40% (2/5) das amostras obtiveram valores de Eh positivos, indicando que as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) se encontram em condições oxidantes.

De acordo com Bohn (1970) *in* Lima *et al.* (2005), o potencial redox ou atividade de elétrons influencia o estado de oxidação do hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio, enxofre, manganês, ferro, cobalto e cobre no sistema aquoso e representa uma medida quantitativa da tendência de um dado sistema oxidar ou reduzir substâncias ou elementos susceptíveis a esses fenômenos. Valores altos e positivos do potencial indicam uma baixa atividade de elétrons e, portanto, condições oxidantes; enquanto valores baixos e negativos do potencial, condições redutoras. Dessa forma, um sistema natural raramente alcançará o equilíbrio entre oxidação e redução em razão da contínua adição de doadores de elétrons, isto é, compostos orgânicos oxidáveis, o que acarreta no caso do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), as diferenças de valores de Eh nas duas campanhas.

9.6.8 – Cátions

9.6.8.1 – Sódio

A estatística descritiva (**tabela 9.15**) indica que os teores de sódio nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) variam entre 1,50 e 41,5 mg/L no período chuvoso, com média de 12,66 mg/L e mediana de 6,93 mg/L. No período de estiagem, os valores ficaram compreendidos entre 1,44 e 42,9 mg/L, com média de 13,52 mg/L e mediana de 8,07 mg/L.

De acordo com a Portaria MS 2914/2011, todos os valores de sódio encontrados nas duas campanhas estão abaixo do VMP de 200 mg/L, padrão definido como de potabilidade para consumo humano, conforme descrito no **item 2.8.1**.

Tabela 9.15 – Estatística descritiva do Sódio do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Na-1) - abril de 2012 e no período seco (Na-2) – outubro de 2012.

Na	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Na-1	5	12,66	-7,58	32,91	6,93	1,50	41,5	16,30	7,29	2,12
Na-2	5	13,52	-7,16	34,20	8,07	1,44	42,9	16,65	7,45	2,06

Em ambas as campanhas, todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.8.1**), indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano e recreação.

De modo geral, os teores de sódio encontrados em ambas as campanhas de amostragem são baixos e próximos, indicando que não há influência da sazonalidade. Isso se deve provavelmente ao intemperismo químico da região, conforme descrito no **item 1.12**, bem como à constante renovação das águas subterrâneas devido à elevada precipitação regional.

9.6.8.2 – Potássio

A **tabela 9.16** mostra a estatística descritiva dos teores de potássio no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul). No período chuvoso, as concentrações de potássio medidas nos 05 poços oscilaram entre 3,30 e 7,15 mg/L, com média de 5,23 mg/L e mediana de 5,41 mg/L. No período de estiagem, a variação foi de 1,66 a 3,54 mg/L, com média de 2,76 mg/L e mediana de 3,03 mg/L.

Tabela 9.16 – Estatística descritiva do Potássio do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (K-1) - abril de 2012 e no período seco (K-2) – outubro de 2012.

K	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
K-1	5	5,23	2,90	7,56	5,41	3,30	7,15	1,87	0,84	-0,11
K-2	5	2,76	1,71	3,81	3,03	1,66	3,54	0,85	0,38	-0,53

Com base nos dados de média e mediana observa-se que os teores de potássio no período chuvoso são mais elevados, o que sugere influência da sazonalidade.

Segundo Pereira *et al.* (2008), o potássio nas águas subterrâneas ocorre em pequena quantidade, normalmente valores de até 10 mg/L, pois é facilmente absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, por intermédio de argilas ou de zeólitos naturais. Na área de estudo, os valores mínimo e máximo de potássio encontrados em ambas as campanhas foram de 0,2 e 9,59 mg/L.

Isto provavelmente se deve ao fato de que no período chuvoso, os poços são inundados pelas águas superficiais do rio Juruá na cidade de Cruzeiro do Sul, o qual se classifica em rio de água branca da Amazônia, devido às altas concentrações de material orgânico mineral em suspensão oriundo das formações geológicas das montanhas Andinas, e de nutrientes, que contribuem para a fertilidade das várzeas (WWF-Brasil, 2005).

9.6.8.3 – Cálcio

A **tabela 9.17** mostra a estatística descritiva dos teores de cálcio medidos no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul). No período chuvoso, os valores medidos estão compreendidos entre 6,9 e 62,7 mg/L, com média de 27,98 mg/L e mediana de 15,50 mg/L. Na estiagem, as concentrações de cálcio variam de 3,2 a 23,8 mg/L, sendo a média igual a 15,13 mg/L e a mediana de 17,44 mg/L.

Tabela 9.17 – Estatística descritiva do Cálcio do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Ca-1) - abril de 2012 e no período seco (Ca-2) – outubro de 2012.

Ca	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Ca-1	5	27,98	-2,83	58,78	15,50	6,9	62,7	24,81	11,10	0,80
Ca-2	5	15,13	4,22	26,04	17,44	3,2	23,8	8,79	3,93	-0,55

Com base nos dados obtidos nas duas campanhas de amostragem, verifica-se que os teores de cálcio são mais elevados no período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade. Isto provavelmente se deve ao fato de que em Cruzeiro do Sul predominam solos distróficos, cujo teor de cálcio trocável é elevado, principalmente em superfície (Dos Anjos *et al.*, 2013).

Além disso, Rodrigues *et al.* (2004) observaram que os teores de cálcio no solo são influenciados pela acidez potencial, ou seja, áreas mais ácidas apresentam menor quantidade de Ca, o que é plausível na área de estudo, uma vez que as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) são mais ácidas no período de estiagem e, portanto, os teores de cálcio são mais baixos.

9.6.8.4 – Magnésio

A estatística descritiva na **tabela 9.18** mostra que os teores amostrados de magnésio nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (abril de 2012) variam de 0,97 a 2,85 mg/L, com média de 1,97 mg/L e mediana de 2,07mg/L. Na estiagem (outubro de 2012), os valores oscilaram entre 1,43 e 3,84 mg/L, com média de 2,69 mg/L e mediana de 2,71 mg/L.

Tabela 9.18 – Estatística descritiva do Magnésio do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Mg-1) - abril de 2012 e no período seco (Mg-2) – outubro de 2012.

Mg	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mg-1	5	1,97	0,98	2,97	2,07	0,97	2,85	0,80	0,36	-0,23
Mg-2	5	2,69	1,44	3,93	2,71	1,43	3,84	1,00	0,45	-0,13

De modo geral, os teores de magnésio no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) são baixos. Isto se deve, sobretudo, ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, onde a abundância de água associada com a exuberante cobertura vegetal e as altas temperaturas são os principais condicionantes do intemperismo químico (**item 1.12**), que ao longo do tempo geológico quebrou a estrutura química dos minerais componentes das rochas e dos sedimentos, deixando os terrenos lixiviados e lateritizados.

Com base nos dados de média, mediana e valores máximos verifica-se que os teores de magnésio são mais elevados no período de estiagem, o que sugere influência da sazonalidade.

Os resultados acima apresentados podem ser justificados, pois Santos *et al.* (1981) ao efetuarem comparação de teores de magnésio encontrados na água dos troncos e na água do lençol freático, verificaram que as concentrações são bastante elevadas nos ecossistemas florestais da Amazônia Central, assim como no período seco, quando os valores desse elemento são maiores devido

principalmente a ação dos ácidos orgânicos que solubilizam o magnésio presente na superfície das folhas e dos caules.

9.6.9 – Ânions

9.6.9.1 – Cloreto

A **tabela 9.19** mostra a estatística descritiva dos teores de cloreto amostrados no ano de 2012 nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul). No período chuvoso (abril de 2012) os valores de cloreto variaram de 0,9 a 2,14 mg/L, com média de 1,43 mg/L e mediana de 1,0 mg/L. No período de estiagem (outubro de 2012), a variação entre o mínimo e o máximo foi de 0,49 a 1,47 mg/L, com média de 0,81 mg/L e mediana de 0,50 mg/L.

Tabela 9.19 – Estatística descritiva do Cloreto do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (CI-1) - abril de 2012 e no período seco (CI-2) – outubro de 2012.

CI	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
CI-1	5	1,43	0,70	2,16	1,00	0,9	2,14	0,59	0,26	0,64
CI-2	5	0,81	0,26	1,36	0,50	0,49	1,47	0,44	0,20	1,02

Na primeira campanha, 60% (3/5) das amostras apresentaram teores de cloreto abaixo do limite de detecção de 1 mg/L, e 20% (1/5) teor abaixo do limite de detecção de 2 mg/L. Na segunda campanha, 60% (3/5) dos poços apresentaram valores abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Todos os poços amostrados em ambas as campanhas apresentaram resultados de cloreto inferiores ao VMP de 250 mg/L estabelecido pela Portaria MS 2914/11, assim como estiveram dentro dos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) podem ser usadas para consumo humano, irrigação e recreação (**item 2.9.1**).

Com base nos dados de média e mediana observa-se que os teores de cloreto de modo geral são baixos, contudo apresentam um ligeiro aumento no período chuvoso, o que sugere influência antrópica, pois segundo Hindi (2001), a presença de nitrato, cloreto e sódio podem ser indicativos de contaminação nas águas subterrâneas por efluentes domésticos. Isto provavelmente ocorre, pois a área de estudo é urbanizada e quase totalmente desprovida de esgotamento sanitário, de modo que principalmente na época da chuva pode haver infiltração de água contaminada, haja vista que a maioria dos poços é construída nas proximidades imediatas das fossas sépticas.

De acordo com Pohling (2009), quando o teor de cloreto está elevado na água e não há influência de fatores geológicos, essa contaminação pode ser proveniente de efluentes domésticos ou industriais.

9.6.9.2 – Sulfato

A estatística descritiva apresentada na **tabela 9.20** indica que os teores de sulfato nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), no período chuvoso, variam de 0,49 a 1,27 mg/L, apresentando média de 0,69 mg/L e

mediana de 0,55 mg/L. No período seco, os teores variaram de 0,49 a 7,31 mg/L, com média de 1,96 mg/L e mediana de 0,50 mg/L.

Na primeira campanha, 40% (2/5) dos poços apresentaram teores de sulfato abaixo do limite de detecção de 0,5 mg/L; enquanto que na segunda campanha, foram 60% (3/5) dos poços.

Tabela 9.20 – Estatística descritiva do Sulfato do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (S-1) - abril de 2012 e no período seco (S-2) – outubro de 2012.

Sulfato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
S-1	5	0,69	0,28	1,09	0,55	0,49	1,27	0,33	0,15	2,11
S-2	5	1,96	-1,75	5,68	0,50	0,49	7,31	2,99	1,34	2,21

Todas as amostras analisadas apresentaram teores de sulfato inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 para consumo humano, dessedentação animal e recreação, bem como dentro dos padrões organoléptico de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.9.2**).

De modo geral, os teores de sulfato no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) são baixos e próximos, indicando que esse parâmetro não sofre influência da sazonalidade. Isto provavelmente se deve ao fato da constante renovação das águas superficiais e subterrâneas na região Amazônica ocasionadas pela elevada frequência e altos índices pluviométricos da área.

Apesar de nenhuma das amostras ultrapassar o VMP definido pelas normas sanitárias supracitadas, a simples presença desse elemento nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), em ambas as campanhas, sugere contaminações locais oriunda da infiltração do esgoto *in natura*, o que provavelmente ocorre devido a proximidade dos poços com as fossas sanitárias.

Fazzio *et al.* (2009) descrevem que o crescente aumento da população urbana tem ocasionado um somatório de contaminantes lançados nas águas subterrâneas, oriundos das mais diversas fontes, relacionadas com o espaço urbano, tais como, fossas sépticas, cemitérios, vazamentos em postos de combustível, lixões, agrotóxicos, poços profundos mal instalados ou abandonados, lançamento de resíduos domésticos e industriais, dentre outros.

9.6.9.3 – Bicarbonato

A estatística descritiva dos teores de bicarbonato (**tabela 9.21**) nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) revela que 20% (1/5) das amostras na segunda campanha obtiveram valores iguais à zero.

No período chuvoso, as concentrações de bicarbonato oscilaram entre 7,0 e 151,0 mg/L, com média de 66,20 mg/L e mediana de 70,0 mg/L. No período de estiagem, as concentrações ficaram compreendidas entre 0,0 e 115,0 mg/L, com média de 60,60 mg/L e mediana igual a 65,0 mg/L.

O bicarbonato não possui VMP definido para o consumo humano, conforme descrito no **item 2.9.3**.

Tabela 9.21 – Estatística descritiva do Bicarbonato do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (B-1) - abril de 2012 e no período seco (B-2) – outubro de 2012.

Bicarbonato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
B-1	5	66,20	-9,65	142,05	70,0	7,0	151,0	61,09	27,32	0,42
B-2	5	60,60	9,64	111,56	65,0	0,0	115,0	41,04	18,35	-0,37

De acordo com as médias e medianas obtidas nas duas campanhas, é possível concluir que os teores de bicarbonato são maiores no período chuvoso, o que sugere influência da sazonalidade. Isto ocorre, pois no período chuvoso, as águas da chuva são ricas em dióxido de carbono (CO₂) que reagindo com a água do aquífero produz o ácido carbônico, que por sua vez se dissocia em bicarbonato, fazendo com que esse íon tenda a ser pouco mais abundante no período chuvoso.

9.6.10 – Dureza

A estatística descritiva da dureza (**tabela 9.22**) das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) mostra que no período chuvoso os valores oscilaram entre 21,24 e 168,44 mg/L, com média de 78,03 mg/L e mediana de 49,49 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 13,99 a 73,81 mg/L, com média de 48,84 mg/L e mediana de 54,72 mg/L.

Tabela 9.22 – Estatística descritiva da Dureza do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

Dureza	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
D-1	5	78,03	-1,95	158,01	49,49	21,24	168,44	64,41	28,81	0,78
D-2	5	48,84	16,59	81,09	54,72	13,99	73,81	25,97	11,62	-0,51

Segundo a classificação de Von Sperling (2005), descrita no **item 2.10**, as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso são 60% (3/5) do tipo mole, 20% (1/5) do tipo moderada e 20% (1/5) do tipo dura; enquanto que no período de estiagem as águas são 40% (2/5) do tipo mole e 60% (3/5) do tipo moderada.

Nas duas campanhas, nenhum dos poços amostrados ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO₃ (**item 2.10**).

Com base nos dados de média e valores máximos, observa-se que os teores de dureza são mais elevados no período chuvoso, o que se deve provavelmente ao fato de que a água da chuva rica em CO₂ converte o CaCO₃ presente nas rochas em Ca(HCO₃)₂ solúvel que contribui para a dureza da água.

Outro fator que contribui para os teores mais elevados de dureza no período chuvoso no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) é o fato de que houve um pequeno aumento dos valores de cálcio na primeira campanha, desse modo é coerente que a dureza apresentasse o mesmo comportamento, haja vista que sua composição se baseia no teor desse elemento associado ao magnésio, que se apresentou em quantidades pouco significativas.

9.6.11 – Compostos Nitrogenados

9.6.11.1 - Nitrato

A **tabela 9.23** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas de coleta de água realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variam de 0,09 a 2,91 mg/L, com média de 0,79 mg/L e mediana igual a 0,31 mg/L. No período seco, os teores variam de 0,19 a 2,89 mg/L, com média de 0,77 mg/L e mediana de 0,27 mg/L.

Tabela 9.23 – Estatística descritiva do Nitrato do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	5	0,79	-0,69	2,27	0,31	0,09	2,91	1,19	0,53	2,20
N-2	5	0,77	-0,69	2,24	0,27	0,19	2,89	1,18	0,53	2,23

Na primeira campanha, 20% (1/5) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L; enquanto que na segunda campanha, 20% (1/5) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,2 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Nenhuma das amostras analisadas nas duas campanhas ultrapassou o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.11**), assim como estiveram dentro dos padrões indicados para consumo humano, dessedentação animal e recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.11**).

De acordo com os dados obtidos, verifica-se que os teores de nitrato são baixos e próximos, sugerindo que não há influência da sazonalidade.

Apesar de nenhum dos poços ultrapassar o VMP de nitrato recomendável pelas resolução sanitárias supracitadas, a simples presença desse elemento nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), em ambas as campanhas, se deve provavelmente a proximidade dos poços com as fossas sanitárias, os quais em muitos casos não possuem a devida proteção sanitária, o que favorece a infiltração do esgoto *in natura* e conseqüentemente a contaminação das águas subterrâneas.

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato, que possui grande mobilidade no solo alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando. O nitrato por possuir essas características se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

9.6.11.2 – Nitrito

A **tabela 9.24** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrito presentes nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas de amostragem realizadas. No período chuvoso (abril de 2012) e no período de estiagem (outubro de 2012), todos os poços amostrados, ou seja, 100% (5/5) tiveram concentrações de nitrito abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L.

Em ambas as campanhas, todas as amostras analisadas apresentaram teores de nitrito dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria MS 2914/2011 de 1 mg/L, assim como poderiam ser usadas para o consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008, em relação a esse parâmetro (**item 2.11**).

Tabela 9.24 – Estatística descritiva do Nitrito do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrito	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	5	0,019	-	-	0,019	0,019	0,019	0,00	0,00	-
N-2	5	0,019	-	-	0,019	0,019	0,019	0,00	0,00	-

De acordo com os dados de nitrito obtidos verifica-se que não há influência da sazonalidade, uma vez que todos os valores nas duas campanhas foram constantes, ou seja, abaixo do limite de detecção.

Os baixos teores de nitrito encontrados nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) são coerentes, pois de acordo com Campos & Rohlf (2010), nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores geralmente abaixo de 5 mg/L, enquanto que nitritos e amônia são ausentes, devido à velocidade com que são convertidos em nitrato pelas bactérias.

9.6.11.3 - Amônia

A **tabela 9.25** mostra a estatística descritiva dos teores de amônia presentes nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nas duas campanhas de coleta de água realizadas.

Nas duas campanhas de amostragem, todos os poços, ou seja, 100% (5/5) tiveram concentrações de amônia abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L.

Tabela 9.25 – Estatística descritiva da Amônia do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (A-1) - abril de 2012 e no período seco (A-2) – outubro de 2012.

Amônia	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
A-1	5	0,09	-	-	0,09	0,09	0,09	0,00	0,00	-
A-1	5	0,09	-	-	0,09	0,09	0,09	0,00	0,00	-

Em ambas as campanhas, todas as amostras analisadas apresentaram teores de amônia dentro do VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011 para consumo humano de 1,5 mg/L (**item 2.11**).

De acordo com os dados de amônia obtidos verifica-se que não há influência da sazonalidade, uma vez que todos os valores nas duas campanhas foram constantes, ou seja, abaixo do limite de detecção.

De acordo com Alaburda & Nishihara (1998), a amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido a sua fácil adsorção por partículas do solo ou a oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo.

Por esse motivo, os teores de amônia obtidos nas duas campanhas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) foram ausentes, pois provavelmente a amônia existente proveniente dos dejetos das fossas sépticas está sendo convertida em nitrato.

9.6.12 – Ferro e Manganês

9.6.12.1 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro (**tabela 9.26**) nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) mostra no período chuvoso valores compreendidos entre 0,0019 e 0,26 mg/L, com média de 0,07 mg/L e mediana de 0,01 mg/L. No período seco, os valores oscilaram entre 0,0056 a 0,48 mg/L, com média de 0,12 mg/L e mediana igual a 0,04 mg/L.

Tabela 9.26 – Estatística descritiva do Ferro do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

Fe	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Fe-1	5	0,07	-0,07	0,20	0,01	0,0019	0,26	0,11	0,05	1,97
Fe-2	5	0,12	-0,13	0,37	0,04	0,0056	0,48	0,20	0,09	2,15

Na segunda campanha, 20% (1/5) dos poços apresentaram valores de ferro que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.12**), além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Todas as amostras analisadas em ambas as campanhas apresentaram teores de ferro dentro dos limites recomendados para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

De acordo com os dados obtidos nas duas campanhas é possível verificar que os teores de ferro são muito próximos, indicando que esse parâmetro não sofre influência da sazonalidade.

De modo geral, os aquíferos da PHA apresentam altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea, os quais resultam principalmente das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas, conforme descrito no **item 2.12**.

9.6.12.2 – Manganês

A estatística descritiva das concentrações de manganês (**tabela 9.27**) nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) revela que os teores de manganês no período chuvoso variam de 0,00009 a 0,0074 mg/L, com média de 0,023 mg/L e mediana igual a 0,00009 mg/L. No período seco, os valores

ficam entre um mínimo de 0,0009 e um máximo de 0,096 mg/L, com média igual a 0,024 mg/L e a mediana igual a 0,0009 mg/L.

Na primeira campanha, 60% (3/5) dos poços apresentaram teores de manganês abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L. Na segunda campanha, 60% (3/5) das amostras apresentaram teores de manganês abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Observou-se que 20% (1/5) dos poços na primeira campanha apresentaram teores de manganês acima do VMP de 0,1 mg/L estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, bem como ultrapassaram os limites previstos na Resolução CONAMA 396/2008, no que se refere aos usos da água para consumo humano e recreação (**item 2.12**).

Tabela 9.27 – Estatística descritiva do Manganês do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (Mn-1) - abril de 2012 e no período seco (Mn-2) – outubro de 2012.

Mn	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Mn-1	5	0,023	-0,04	0,08	0,00009	0,00009	0,11	0,05	0,02	2,21
Mn-2	5	0,024	-0,03	0,07	0,0009	0,0009	0,096	0,04	0,02	2,15

Em ambas as campanhas de amostragem, 40% (2/5) dos poços apresentaram teores de manganês que ultrapassaram os limites recomendados para dessedentação animal, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Nenhum dos poços analisados nas duas campanhas ultrapassou o limite recomendado para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Com base nos dados obtidos, verifica-se que os teores de manganês de modo geral são próximos, indicando que não há influência da sazonalidade.

9.6.13 – Isótopos Ambientais

9.6.13.1 – Oxigênio 18 e Deutério

Em hidrologia isotópica, a **equação 2.2** que define a linha de água meteórica global (GMWL) de Harmon Craig (1961) é uma referência para a interpretação da origem das águas subterrâneas, conforme pode ser observado no **item 2.15.1**. Contudo, especificamente no caso do aquífero inominado (Cruzeiro do Sul), não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem apenas a 2 (dois) pontos de amostragem (**tabela 9.28**), não sendo, portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**.

Tabela 9.28 – Valores de oxigênio-18 e deutério obtidos nas amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período seco (outubro de 2012).

Poço	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta\text{D}\text{‰}$
CZS03	-7,6	-45,7
CZS04	-5,4	-32,1

9.6.13.2 – Trício

Clark & Fritz (1997) realizaram uma proposta de interpretação qualitativa de dados de ^3H para dados de regiões costeiras e de baixa latitude, onde é feita uma relação entre os valores de unidades de trício (U.T.) com a idade das águas subterrâneas (**tabela 2.10**), conforme descrito no **item 2.15.2**.

Sendo assim, com base nessa relação e nos dados de ^3H obtidos nas 02 (duas) amostras coletadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), é possível verificar que o aquífero possui mistura de água submoderna com recarga anterior a 1952 (**figura 9.3**).

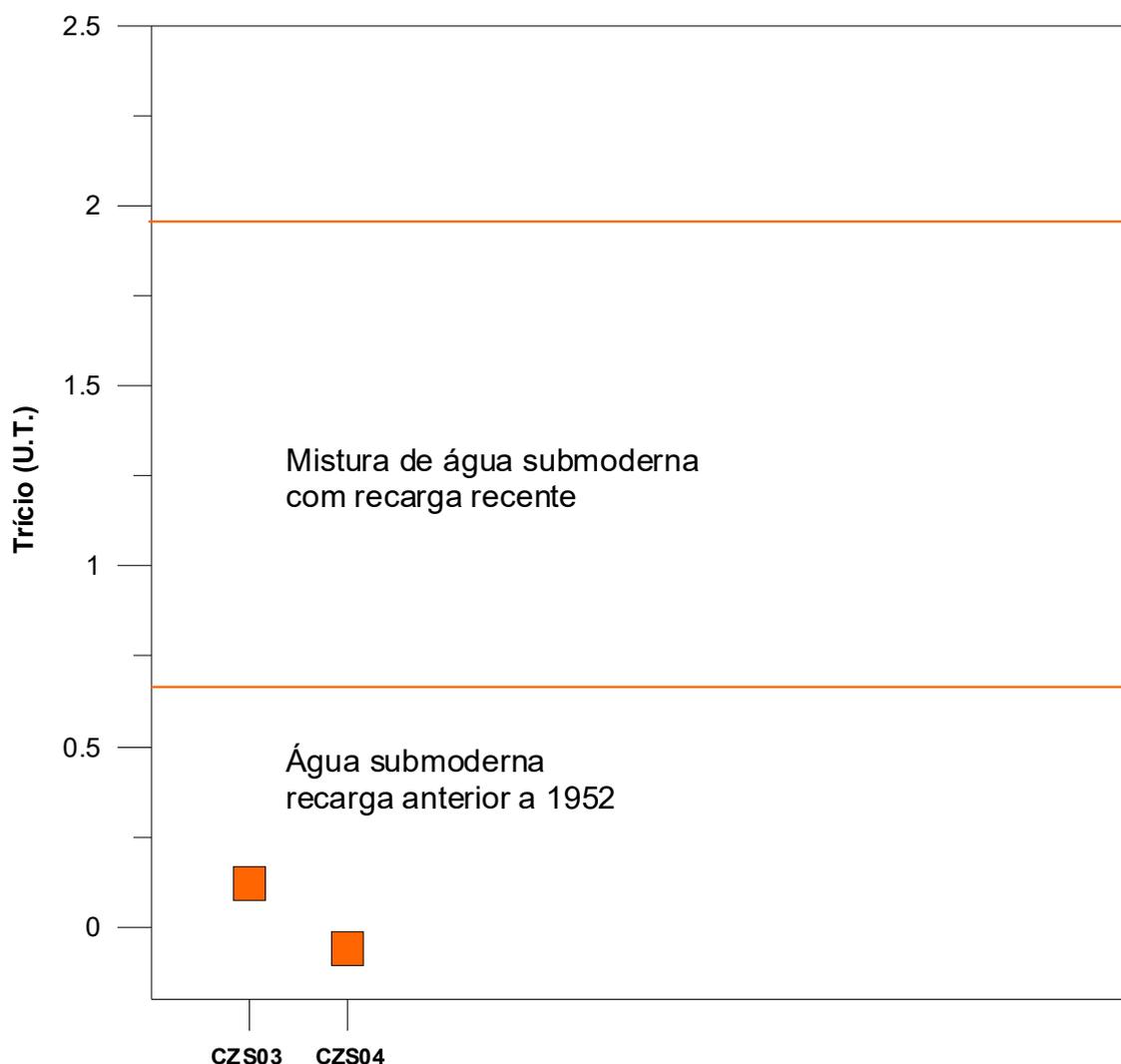


Figura 9.3 – Idade qualitativa da recarga do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), segundo os dados de trício de 02 (duas) amostras coletadas.

9.6.13.3 - Conclusão

Os estudos dos isótopos ambientais realizados no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) permitiram alcançar os seguintes resultados:

- Não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteórica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-

18 e deutério se referem apenas a 2 (dois) pontos de amostragem, não sendo, portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**;

- As datações efetuadas com Trício foram baseadas na proposta de interpretação qualitativa de Clark & Fritz (1997) indicaram que as águas do aquífero inominado (Cruzeiro do Sul) têm mistura de água submoderna com recarga anterior a 1952.

9.6.14 – Parâmetros Biológicos

Coliformes Totais

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) apresentaram em 60% (3/5) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 80% (4/5) das amostras.

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, 40% (2/5) dos poços na primeira campanha e 20% (1/5) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano, o que é extremamente preocupante, haja vista que a população da área de estudo utiliza a água dos poços para todos os usos, principalmente o doméstico.

Tais resultados ocorrem no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), pois a área de estudo está inserida numa região bastante urbanizada e que não possui sistema de esgotamento sanitário, o que segundo Zoby (2008) é extremamente preocupante, pois a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

Escherichia Coli

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA 396/2008 também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

Apenas no período de estiagem (outubro de 2012), as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) apresentaram presença de *E. coli* em 20% (1/5) dos casos.

Com base nos resultados das análises, verifica-se que 100% (5/5) dos poços na primeira campanha e 80% (4/5) na segunda campanha apresentaram padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que estas águas podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 2.11**), de acordo com este parâmetro.

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo, da falta de manutenção do reservatório, localização inadequada do poço e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

Dessa forma, fica evidente que a presença de *E. coli* no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) se deve provavelmente ao lançamento de esgoto *in natura*, que infiltra no solo e contribui para a contaminação do lençol freático, o que é extremamente preocupante, pois pode acarretar na população doenças de veiculação hídrica, tais como, amebíase, giardíase, gastroenterite, febres tifoide e paratifoide, hepatite infecciosa e cólera.

9.6.15 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) Segundo a Composição Química

Vários são os métodos existentes para a classificação das águas segundo a composição química. Todos eles se baseiam em representações gráficas dos percentuais ou frações dos cátions e ânions dominantes, normalmente expressos em meq/L. As representações são as mais diversas, incluindo diagramas colunares, circulares, triangulares e até polígonos irregulares. Dentre os mais utilizados, estão o diagrama triangular de Piper e o polígono de Stiff, a seguir apresentados para a classificação das águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), com base nos dados coletados na rede de 05 (cinco) poços de monitoramento em duas campanhas: a primeira, no período chuvoso (abril de 2012) e a segunda no período de estiagem (outubro de 2012).

9.6.15.1 – Diagrama Triangular de Piper

Período chuvoso

A classificação das águas por meio do Diagrama de Piper se baseia na identificação dos ânions e cátions predominantes. Mediante observação da **figura 9.4** e **tabela 9.29**, é possível identificar que as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso de abril de 2012, no que se refere aos ânions são 100% (5/5) bicarbonatadas. Já no que concerne a presença de cátions, as águas são 80% (4/5) cálcicas e 20% (1/5) mistas.

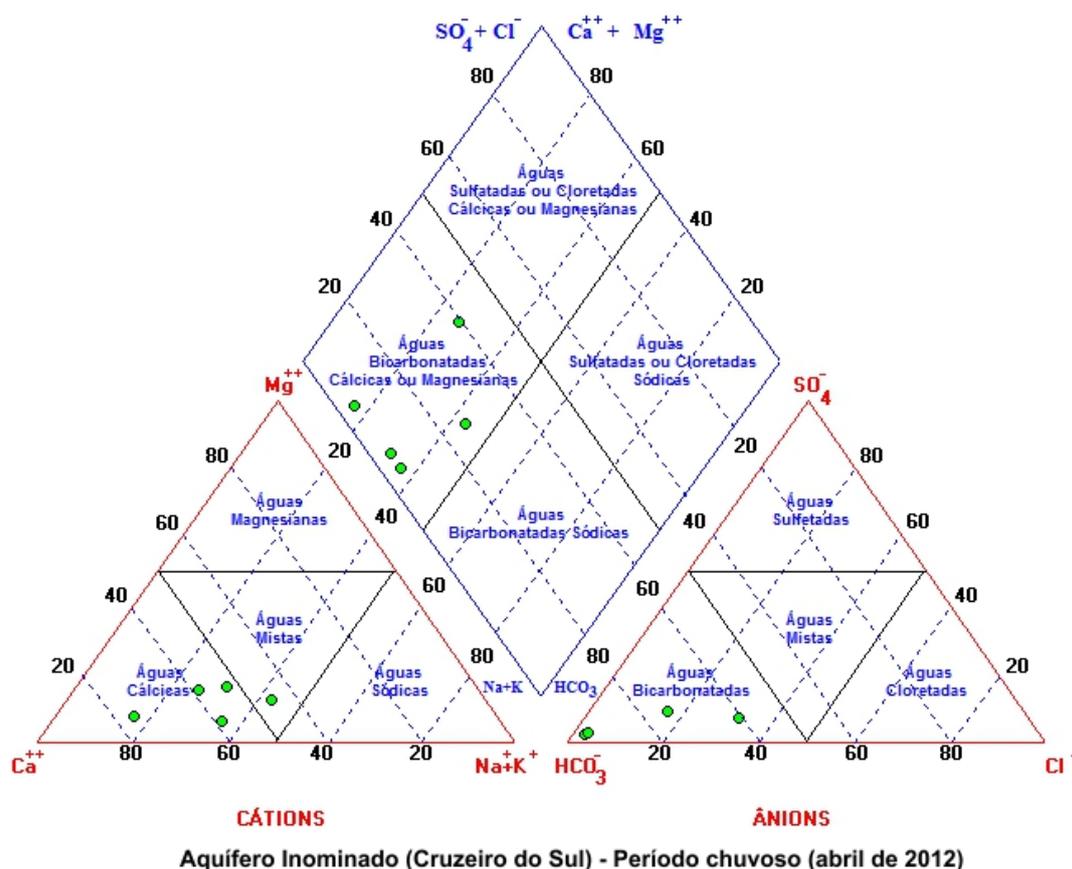


Figura 9.4 – Classificação das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) coletadas no período chuvoso (abril de 2012), segundo o diagrama Triangular de Piper.

De modo geral, as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso (abril de 2012) são classificadas como bicarbonatadas cálcicas (100%), como pode ser observado na **tabela 9.29**.

Tabela 9.29 - Classificação das Águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) segundo a composição química - Período Chuvoso (abril de 2012).

Cátions	Poços	%	Ânions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfatadas	0	0	Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcidas ou Magnesianas	0	0
Águas Cálcidas	4	80	Águas Bicarbonatadas	5	100	Águas Bicarbonatadas Cálcidas	5	100
Águas Sódicas	0	0	Águas Cloretadas	0	0	Águas Bicarbonatadas Sódicas	0	0
Águas Mistas	1	20	Águas Mistas	0	0	Águas Cloretadas Sódicas	0	0

Período de estiagem

De acordo com a **figura 9.5** e **tabela 9.30** verifica-se que as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período seco de outubro de 2012, quanto à presença de ânions são 80% (4/5) bicarbonatadas e 20% (1/5) cloretadas. Com relação aos cátions é possível identificar que 40% (2/5) das águas são cálcicas, 20% (1/5) são sódicas e 40% (2/5) são mistas.

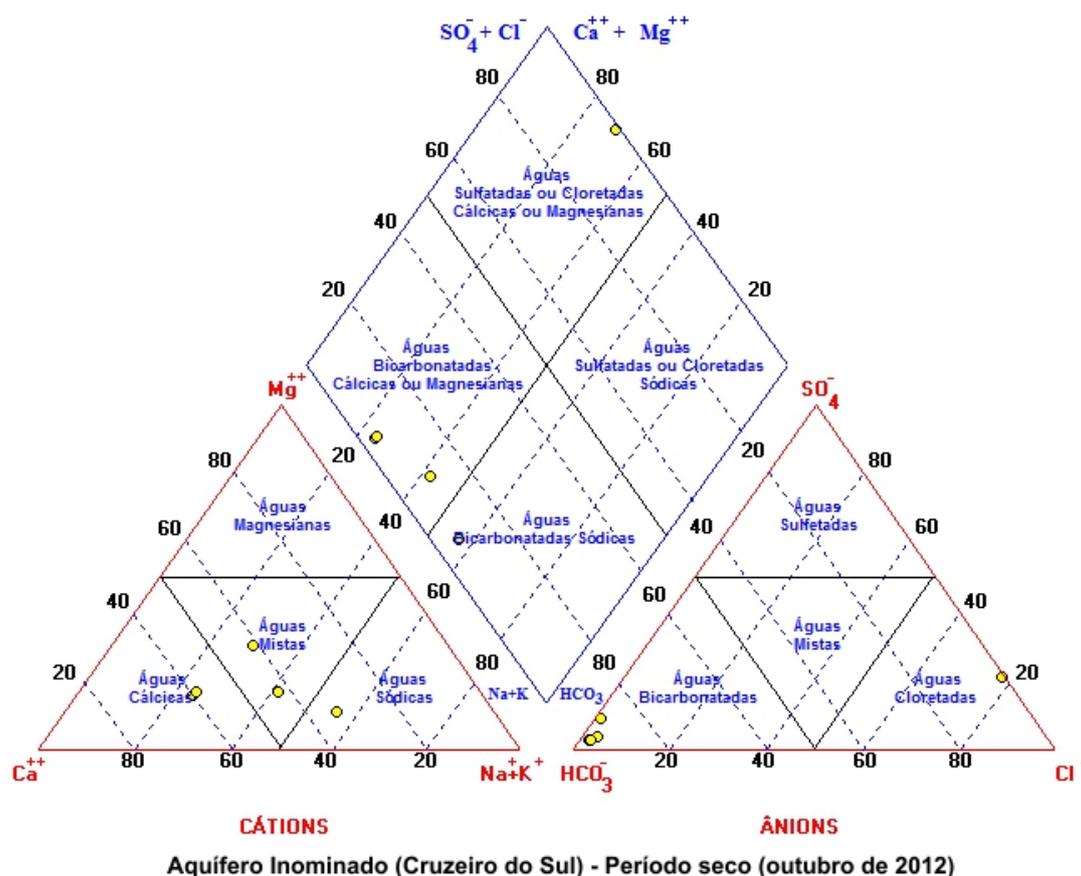


Figura 9.5 – Classificação das águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) através do Diagrama de Piper, com base em amostras de água coletadas em outubro de 2012.

Mediante análise dos dados coletadas no período seco em outubro de 2012 (**tabela 9.30**), é possível afirmar a existência, de modo geral, de três classes de

águas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul): bicarbonatadas cálcicas (60%), cloretadas cálcicas (20%) e bicarbonatadas sódicas (20%).

Tabela 9.30 - Classificação das Águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), de acordo com a composição química - Período seco (outubro de 2012).

Cátions	Poços	%	Anions	Poços	%	Geral	Poços	%
Águas Magnesianas	0	0	Águas Sulfatadas	0	0	Cloretadas Cálcicas	1	20
Águas Cálcicas	2	40	Águas Bicarbonatadas	4	80	Águas Bicarbonatadas Cálcicas	3	60
Águas Sódicas	1	20	Águas Cloretadas	1	20	Águas Bicarbonatadas Sódicas	1	20
Águas Mistas	1	20	Águas Mistas	0	0	Águas Cloretadas Sódicas	0	0

Nas duas campanhas de amostragem, verificou-se que a composição química das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) apresenta na maioria das amostras, águas Bicarbonatadas Cálcicas, e que isso não se modifica com a sazonalidade.

9.6.15.2 – Diagrama de Stiff

Com base nos resultados das coletas realizadas nos meses de abril e outubro de 2012 em 05 poços situados no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), foram elaborados para fins de classificação das águas, segundo a composição química, Diagramas de Stiff, através dos quais é possível visualizar facilmente por meio de polígonos os íons predominantes no local.

Período chuvoso

Verificou-se que as amostras do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) coletadas no período chuvoso (abril de 2012) são 100% (5/5) bicarbonatadas cálcicas (**figura 9.6a**). Tais dados permitem classificar as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) em abril de 2012 como *Bicarbonatadas Cálcicas*.

Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) - Águas Bicarbonatadas Cálcidas – abril de 2012

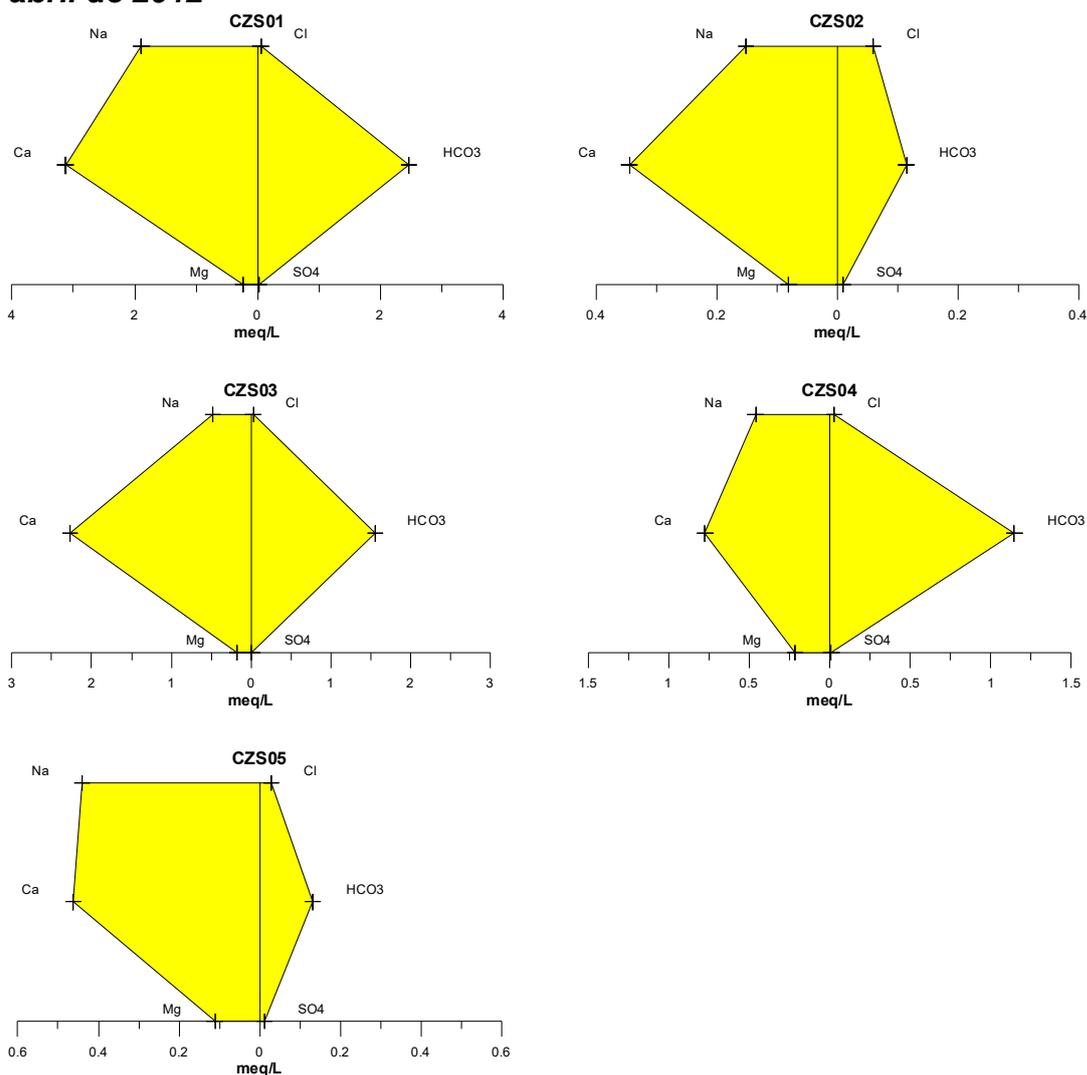


Figura 9.6a – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas em abril de 2012 no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul).

Período de estiagem

Analisando os resultados das amostras do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul), coletadas no período seco, em outubro de 2012, verificou-se que 20% (1/5) das águas são classificadas como cloretadas cálcicas (**figura 9.7a**) e 80% (4/5) bicarbonatadas cálcicas (**figura 9.7b**). Tais dados permitem classificar as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) em outubro de 2012 como *Bicarbonatadas Cálcidas* em sua maioria.

Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) - Águas Cloretadas Cálcidas - outubro de 2012

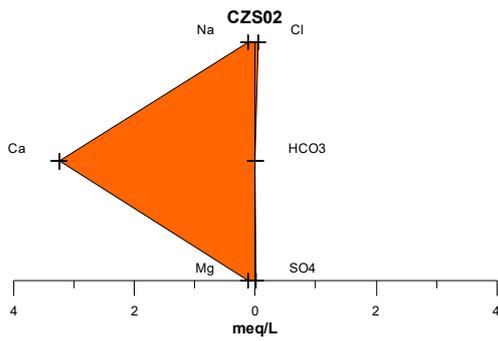


Figura 9.7a – Águas cloretadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul).

Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) - Águas Bicarbonatadas Cálcidas - outubro de 2012

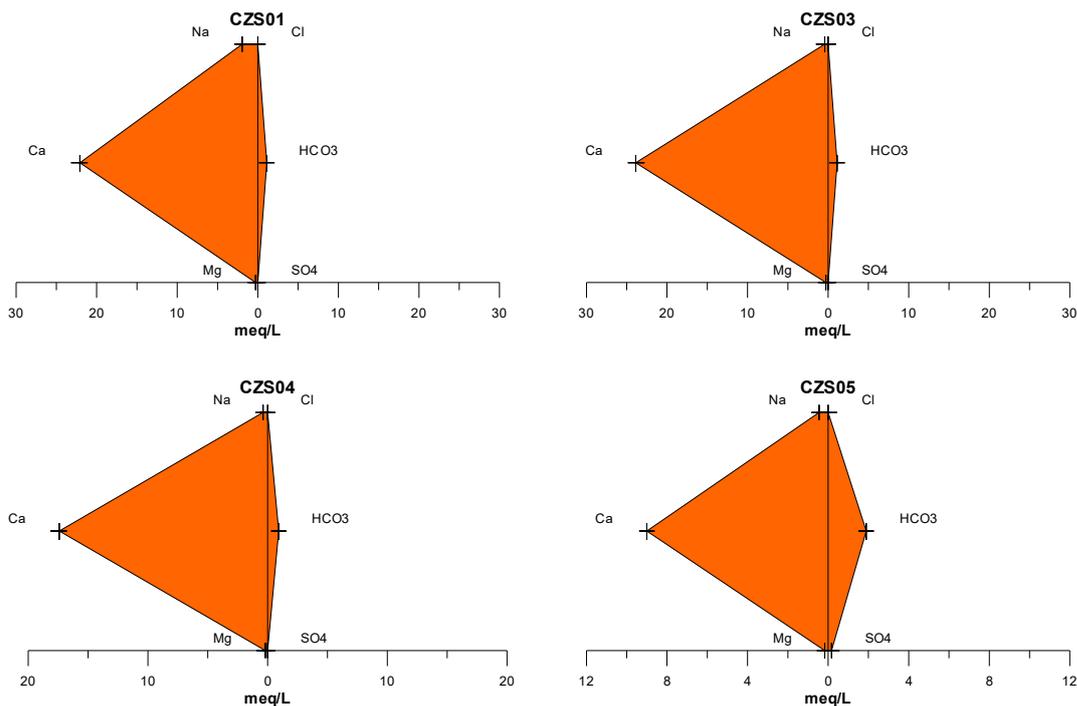


Figura 9.7b – Águas bicarbonatadas cálcicas classificadas segundo os Diagramas de Stiff, com base em amostras de água coletadas no período de estiagem em outubro de 2012 no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul).

9.6.16 – Classificação das Águas Subterrâneas do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) Segundo o Uso

9.6.16.1 – Diagramas de Schoeller-Berkaloff para o Consumo Humano

A partir da análise da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) para consumo humano, por meio do Diagrama de Schoeller-Berkaloff, em abril (figura 9.8) e outubro de 2012 (figura 9.9), é possível verificar que águas são classificadas como de boa potabilidade em ambas as campanhas. Além disso, é possível notar que os parâmetros cloreto e sulfato estão abaixo do VMP recomendado pela Portaria MS 2914/2011, indicando que as águas podem ser usadas para consumo humano.

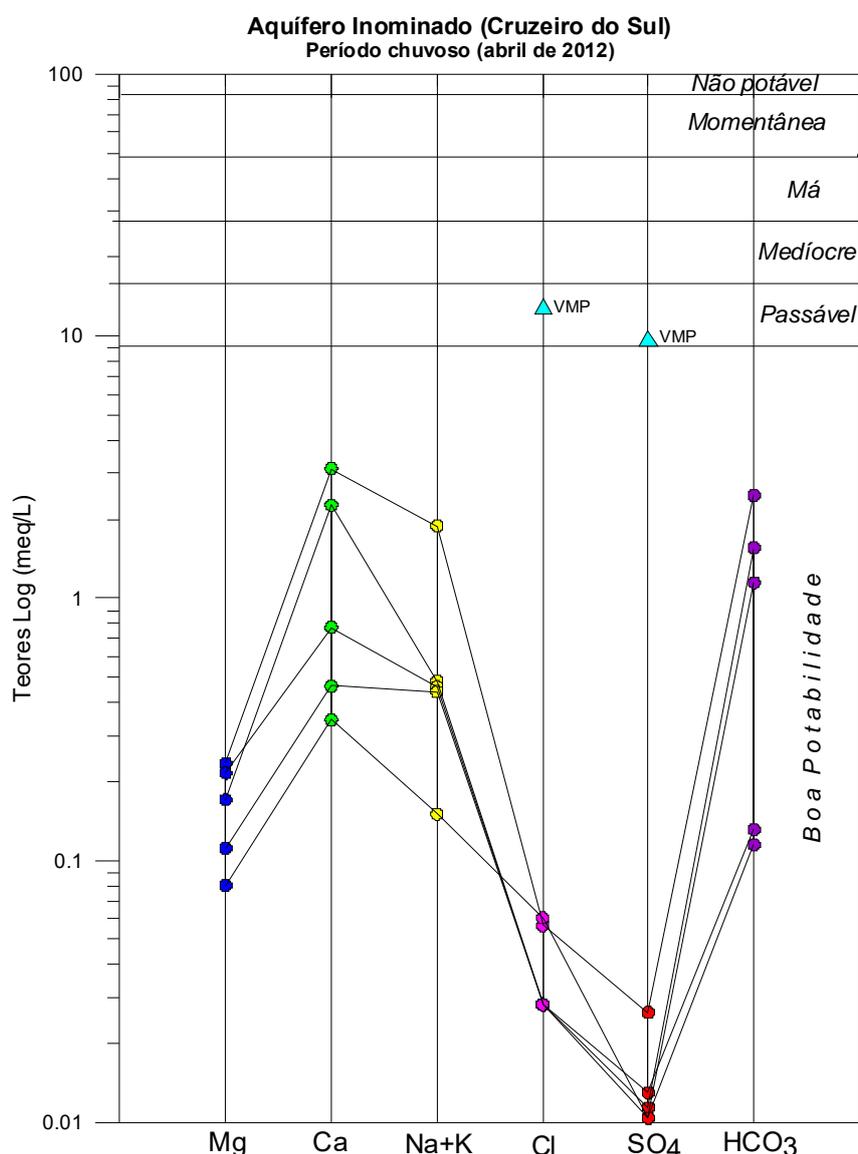


Figura 9.8 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período chuvoso, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

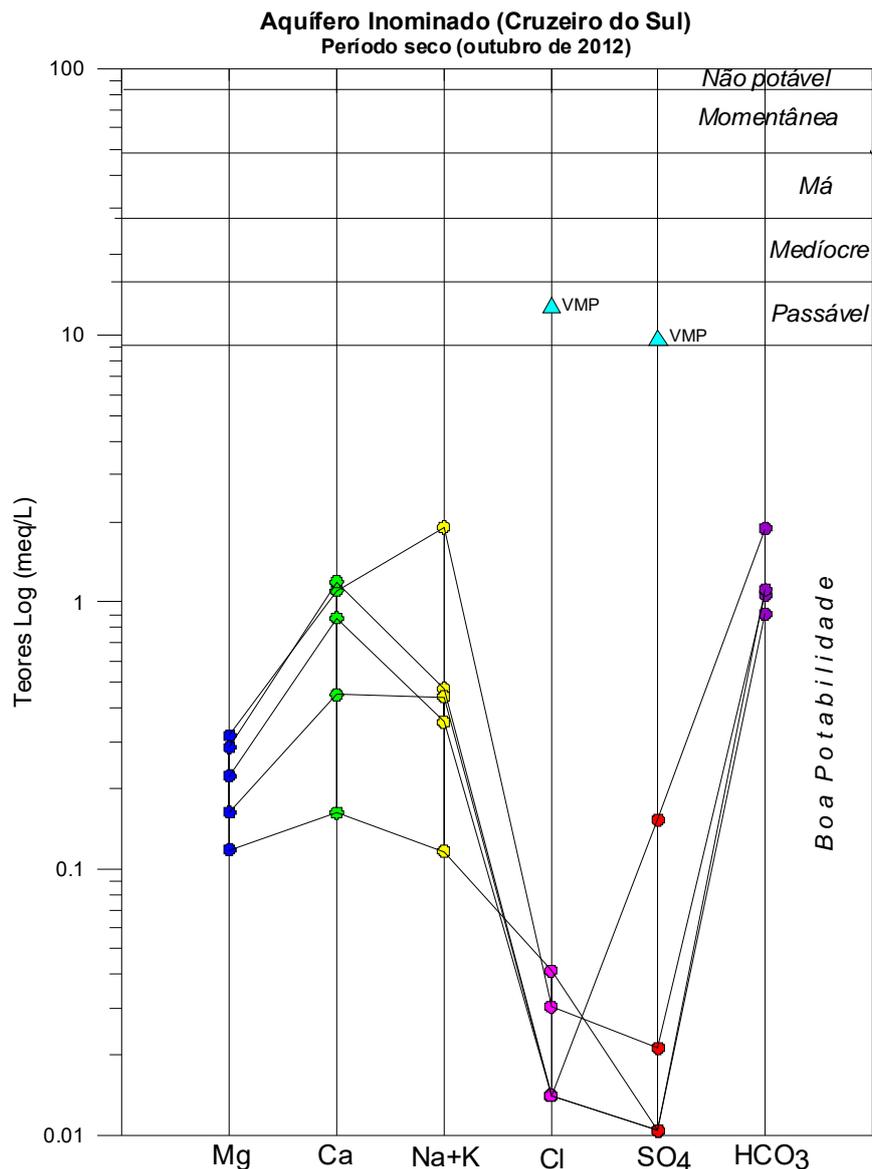


Figura 9.9 – Classificação da potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) no período de estiagem, segundo o Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

9.6.16.2 – Diagramas de Risco de Sódio e Salinidade para Irrigação

Para a avaliação quanto ao uso na irrigação das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que se baseia na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na condutividade elétrica da água para classificar as águas em categorias de acordo com a salinidade e o risco de sódio.

Período Chuvoso

Com base na referida classificação, verificou-se que as amostras coletadas em abril de 2012 apresentaram risco de sódio baixo em 100% dos casos, ou seja, classificação S₁, que significa águas fracamente sódicas, que podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores

nocivos de sódio susceptível de troca, servindo para o cultivo de quase todos os vegetais, como pode ser observado na **figura 9.10**.

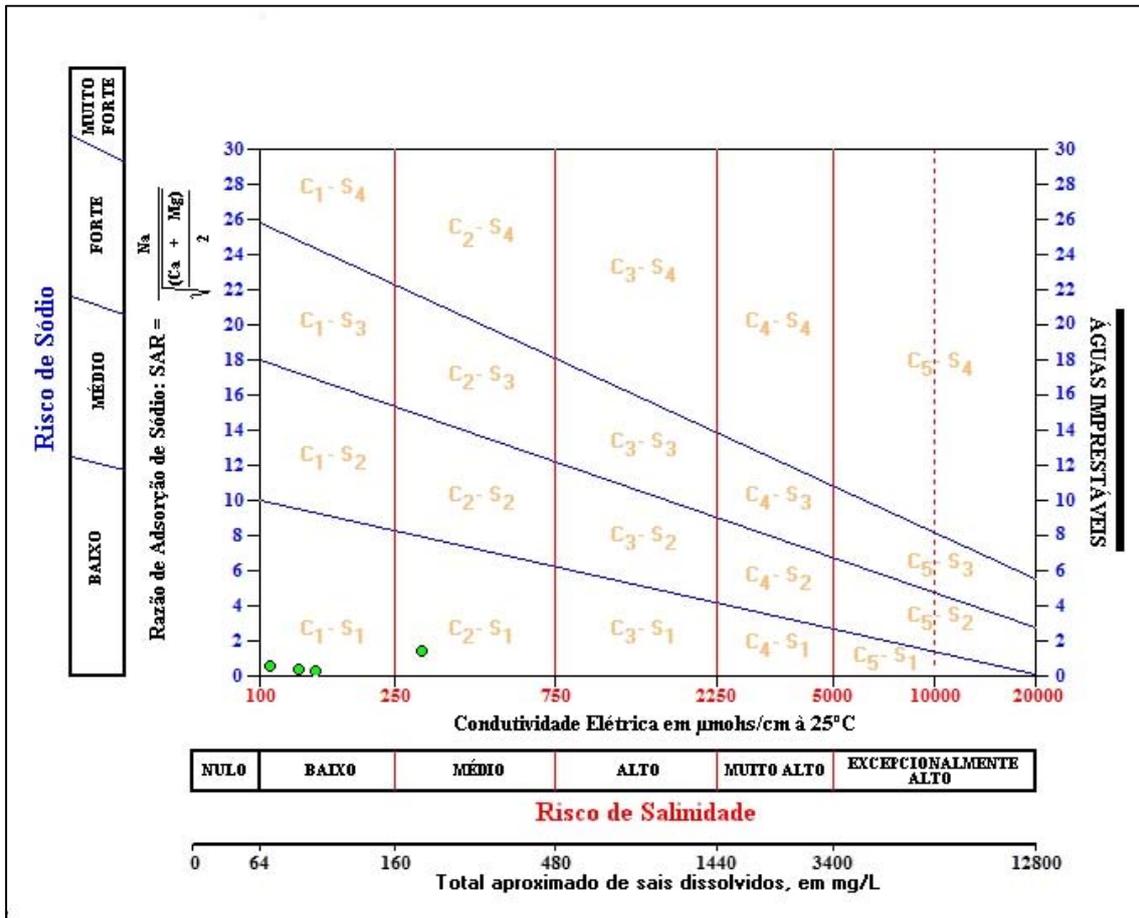


Figura 9.10 – Classificação das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) para fins de irrigação – Abril de 2012.

Quanto à salinidade, as amostras de abril de 2012 apresentaram em 20% dos casos classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; enquanto que 60% dos casos classificação C₁, indicativa de que são águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca. Os 20% restantes apresentaram classificação C₂, ou seja, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silte-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo (**figura 9.10**).

Período de Estiagem

Os resultados das amostras coletadas em outubro de 2012 revelaram que em 100% dos casos as águas apresentaram risco de sódio baixo, o que corresponde à classificação S₁, águas fracamente sódicas que podem ser usadas em quase todos os solos e servem para cultivar boa parte dos vegetais, como indica a **figura 9.11**.

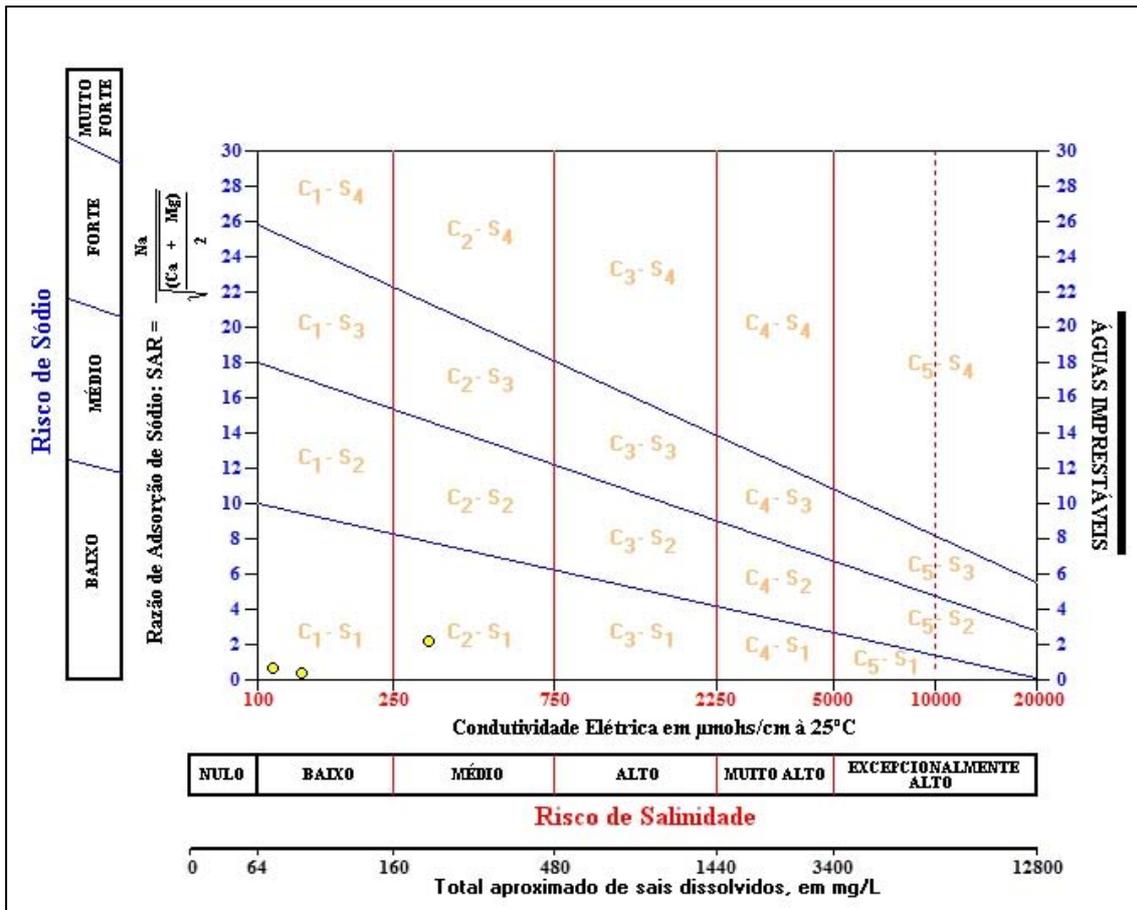


Figura 9.11 – Classificação das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) para fins de irrigação – Outubro de 2012.

Com relação à salinidade, as amostras de outubro de 2012 apresentaram em 40% dos casos a classificação C₀, que corresponde a águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação; em 40% dos casos a classificação C₁, ou seja, águas de salinidade fraca, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas; e nos 20% restantes, a classificação C₂, ou seja, águas de salinidade média, que devem ser usadas com precaução (**figura 9.11**).

De modo geral, verifica-se que ambas as campanhas de amostragem apresentaram águas propícias para fins de irrigação, o que pode representar uma alternativa local de fonte de renda (**tabela 9.31**).

Tabela 9.31 - Classificação das águas coletadas nas duas campanhas de amostragem de acordo com o risco de salinidade e de sódio, segundo USSL.

Nome	Período chuvoso (abril de 2012)			Período seco (outubro de 2012)		
	Classe USSL	Risco		Classe USSL	Risco	
		Salinidade	Sódio		Salinidade	Sódio
CZS01	C2-S1	Médio	Baixo	C2-S1	Médio	Baixo
CZS02	C0-S1	Nulo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
CZS03	C1-S1	Baixo	Baixo	C0-S1	Nulo	Baixo
CZS04	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo
CZS05	C1-S1	Baixo	Baixo	C1-S1	Baixo	Baixo

Legenda:

Poços destacados em vermelho possuem salinidade média, de acordo com a classificação do USSL.

9.6.16.3 – Pecuária

A fim de avaliar se as águas coletadas nos 05 poços distribuídos no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) nos períodos de abril e outubro de 2012 servem para pecuária, empregou-se a metodologia adotada por McKee & Wolf (1963), os quais determinam os limites máximos admissíveis de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água para cada tipo de animal, como pode ser observado na **tabela 9.32**.

Tabela 9.32 – Padrões de STD para uso animal, segundo McKee & Wolf (1963).

Animal	STD (mg/L)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Bodes e Carneiros	12.900

Sendo assim, com base na classificação acima, é possível afirmar que as águas em ambos os períodos de coleta podem ser utilizadas para o consumo animal sem restrições, uma vez que os maiores teores encontrados de STD foram de 212 e 197 mg/L, respectivamente, para a 1ª e 2ª campanhas.

9.6.17 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas Subterrâneas do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul)

O estudo hidrogeoquímico das águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) indicou que, de forma geral, os teores analisados se encontram em baixíssimas concentrações devido ao clima chuvoso da Floresta Tropical Amazônica, e que alguns poucos valores extremos encontrados, inclusive acima do VMP estabelecido como de potabilidade pela Portaria MS 2914/2011, assim como os usos preponderantes da água subterrânea definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, se devem em grande parte a fatores antrópicos, com exceção dos parâmetros ferro e manganês, que se devem a condição geológica local.

A análise estatística dos parâmetros físico-químicos coletados em duas campanhas de amostragem, realizadas em abril e outubro de 2012, revelou

efeito de sazonalidade sobre alguns parâmetros, tais como, turbidez, pH, potássio, cálcio, cloreto, bicarbonato e dureza, cujos teores foram mais elevados no período chuvoso em relação aos do período de estiagem.

Alguns parâmetros não apresentaram influência da sazonalidade, pois os resultados das duas campanhas de amostragem foram muito próximos, ou apresentaram em sua maioria teores abaixo do limite de detecção, a exemplo da cor, CE, STD, temperatura, sódio, sulfato, nitrato, nitrito, amônia, ferro e manganês.

A avaliação dos parâmetros biológicos indicou a presença de Coliformes totais em ambas as campanhas, e de *E. Coli* apenas na segunda campanha, o que corresponde à contaminação das águas subterrâneas por fossas sépticas, devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares, em sua maioria, são pouco profundos e construídos com técnicas inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção sanitária. A ocorrência desses parâmetros biológicos é extremamente preocupante, pois pode ocasionar doenças de veiculação hídrica na população local, que utiliza dessas águas para os mais diversos usos, incluindo consumo humano.

Os altos teores de ferro e manganês dissolvidos em alguns pontos isolados nas águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) se devem a reações de oxirredução, atuantes sobre o ferro insolúvel residual do intemperismo químico regional resultante da alta pluviosidade associada a elevadas temperaturas e acidez das águas, as quais favoreceram a decomposição das rochas ao longo do tempo geológico.

Quanto ao pH *in situ*, os resultados mostram que em ambos os períodos as águas subterrâneas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) se caracterizam na maioria como levemente ácidas, mas com um ligeiro aumento da acidez no período de estiagem.

Com os resultados dos isótopos ambientais não foi possível estabelecer a **Reta de Água Subterrânea (RAS)** e nem a **Reta Meteorica Mundial (RMM)**, pois os dados fornecidos de oxigênio-18 e deutério se referem apenas a 2 (dois) pontos de amostragem, não sendo, portanto, possível efetuar o ajuste linear da **equação 2.2**.

Segundo as datações efetuadas com Trício, as águas do aquífero estudado possuem mistura de água submoderna com recarga anterior a 1952.

No que se refere à classificação das águas subterrâneas de acordo com a composição química é possível verificar que as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) em sua maioria são Bicarbonatadas Cálcicas, e de boa potabilidade segundo indicação dos diagramas de Piper, Stiff e Schoeller-Berkaloff.

No que concerne à avaliação das águas para irrigação, verifica-se que as águas do aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) possuem risco de sódio baixo e salinidade entre fraquíssima a média, indicando que as águas podem ser usadas para o cultivo de boa parte dos vegetais.

Por meio da metodologia de McKee & Wolf (1963), as águas podem ser utilizadas para a dessedentação animal sem restrições, haja vista que os teores de STD encontrados em ambas as campanhas foram baixos.

10 – Síntese da Hidrogeoquímica da PHA

10.1 - Introdução

Com o intuito de avaliar o comportamento da qualidade das águas subterrâneas na Província Hidrogeológica Amazonas nos 250 poços selecionados (**tabela 1.1**), foram escolhidos alguns parâmetros, tais como, STD, pH *in situ*, dureza, nitrato, ferro, Coliformes Totais e Termotolerantes (*E. Coli*) nas duas campanhas de amostragem realizadas, uma no período chuvoso (abril de 2012) e outra no período seco (outubro de 2012), com defasagem de 6 (seis) meses, a fim de analisar por meio de modelagem geoestatística se há ou não influência da sazonalidade.

O Sistema Aquífero Amazonas no Brasil (SAAB) tem extensão territorial de 2 milhões de km² e coincide com a Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil. É constituído, em 96,6% do território da PHA no Brasil, de formações exclusivamente cretácicas, terciárias e quaternárias. Inclui, todavia, na porção correspondente a 3,4% do território, formações paleozoicas aflorantes sobre plataformas do embasamento numa área de 67.260 km².

Considera-se que a caracterização hidrogeoquímica baseada nas amostragens realizadas é válida apenas para as águas das unidades aquíferas descritas e não podem ser extrapoladas para o SAAB, porque segundo a modelagem numérica de fluxo da PHA (Volume III), as águas subterrâneas deste grande sistema freático circulam a profundidades relativamente pequenas. Tanto é assim que a vazão de escoamento natural do SAAB (0,409 m³/s) é desprezível em relação à descarga de base (11.295 m³/s). Em Santarém, por exemplo, as águas subterrâneas se comportam como um aquífero suspenso, no qual as águas infiltradas sobre o Planalto Xingu-Tapajós são prontamente restituídas à rede hidrográfica sem circular regionalmente pelo SAAB. A hidroquímica das águas subterrâneas profundas na escala do SAAB é totalmente desconhecida, pois não existem amostragens de água em poços profundos.

Dentre o total de 250 poços em que foram coletadas amostras de água nas duas campanhas de amostragem na PHA, apenas 98 poços possuem perfis construtivos, indicando as seções dos filtros, cujos valores refletem águas subterrâneas pouco profundas, como mostra a **tabela 10.1**.

Pode-se notar que a profundidade média do topo dos filtros é de apenas 59 m, o que representa em relação aos 1.000 m de espessura do pacote de aquíferos que constituem o SAAB, uma razão de 59/1.000 m ou cerca de 6%, ou seja, são águas subterrâneas que, em média, circulam nas primeiras dezenas de metros do SAAB.

A velocidade média de circulação das águas subterrâneas no SAAB, segundo o modelo numérico de fluxo, é muito baixa, igual a 0,77 m/ano. É, portanto, de se esperar que exista um gradiente de velocidade de circulação decrescente das águas subterrâneas com a profundidade. Nesse caso existe uma tendência de aumento da concentração de íons com a profundidade em virtude do maior tempo de contato água-rocha nas zonas mais profundas.

Tabela 10.1 – Profundidade média e do topo dos filtros dos 98 poços localizados nos aquíferos analisados na PHA nas duas campanhas de amostragem.

Aquífero	Profundidade (m)			Topo filtros (m)			Total de Poços	Quantitativo de Poços com perfil	Cidades
	Média	Min	Máx	Média	Min	Máx			
Aluvial	23	18	31	18	6	30	24	16	Belém, Eirunepé, Itaituba e Tabatinga
Rio Branco	-	-	-	-	-	-	30	0	Rio Branco
Içá	47	25	110	27	12	56	30	28	Humaitá, Barcelos, Tefé, Fonte Boa, Coari e Lábrea
Barreiras	72	19	276	58	10	248	18	6	Belém
Alter do Chão	101	45	216	44	24	80	70	35	Almeirim, Manaus, Parintins e Santarém
Itaituba	39	30	43	27	24	30	2	2	Itaituba
Pirabas	238	120	304	181	106	221	10	10	Belém
Monte Alegre	-	10	66,5	-	49,7	63,7	1	1	Itaituba
Inominado (Cruzeiro do Sul)	-	-	-	-	-	-	5	0	Cruzeiro do Sul
Tucunará	-	-	-	-	-	-	30	0	Macapá
Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	30	0	Porto Velho
Média	87	38	150	59	33	104	250	98	-

10.2 – Interpretação dos Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas da PHA

10.2.1 – Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os teores de STD nas águas subterrâneas da PHA, segundo a estatística descritiva mostrada na **tabela 10.2**, variam no período chuvoso de 6,0 a 521 mg/L, com média de 88,62 mg/L e mediana de 57 mg/L. No período de estiagem, o mínimo observado foi 4,9 mg/L e o máximo 815 mg/L, com média de 82,15 mg/L e mediana de 50 mg/L.

Tabela 10.2 – Estatística descritiva dos Sólidos Totais Dissolvidos da PHA no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

STD	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
STD-1	250	88,62	78,32	98,93	57,00	6,0	521,0	82,75	5,23	1,64
STD-2	250	82,15	70,95	93,36	50,00	4,9	815,0	89,95	5,69	3,33

Os valores de STD obtidos nas duas campanhas estão abaixo do VMP da Portaria MS 2914/2011, assim como dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as águas da PHA podem ser usadas para consumo humano, em relação a esse parâmetro (**item 2.5**).

Com exceção do valor máximo e anômalo de 815 mg/L na segunda campanha, os demais valores nas duas campanhas são de até 550 mg/L, ou seja, baixos quando comparados ao VMP definido pelas resoluções sanitárias supracitadas que é de 1.000 mg/L, o que decorre da constante renovação das águas associada à elevada precipitação pluviométrica da Região Amazônica.

De acordo com Parron *et al.* (2011), o STD serve como um indicador agregado da presença de produtos químicos contaminantes na água, haja vista que as suas fontes primárias podem ser de origem agrícola, residencial, de lixiviados de contaminação do solo, de fontes pontuais de descarga de poluição das águas industriais ou estações de tratamento de esgoto.

As funções lognormais de distribuição de probabilidade que modelam os histogramas de frequência dos sólidos totais dissolvidos na primeira e na segunda campanha de amostragem de água da PHA (**figura 10.1**) permitiram avaliar, com risco calculado, que no período chuvoso a concentração de STD é maior do que no período de estiagem (**tabela 10.3**), indicando uma influência da sazonalidade, haja vista que o valor da razão entre as duas campanhas é superior a 1 (um).

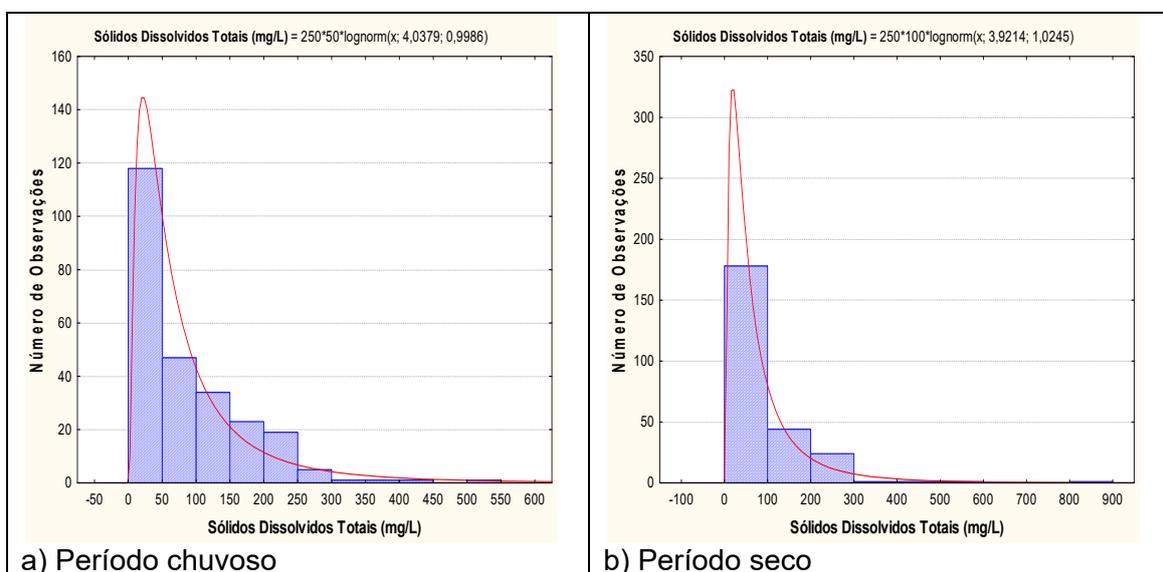


Figura 10.1 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos da PHA, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os resultados acima apresentados indicam que na época de estiagem as águas subterrâneas se apresentam mais diluídas e, portanto, com menores valores de STD. Outro fator que contribui para o teor mais elevado de STD no período chuvoso são as inundações periódicas da região Amazônica, onde podem ocorrer transbordamentos de fossas sépticas, as quais entram em contato com as águas de escoamento superficial que posteriormente se infiltram e contaminam as águas subterrâneas.

Tabela 10.3 – Distribuição de probabilidade dos Sólidos Totais Dissolvidos da PHA no período chuvoso (STD-1) - abril de 2012 e no período seco (STD-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
STD-1	56,71	24,47	15,77	10,97	7,29	5,56
STD-2	50,47	21,31	13,58	9,36	6,16	4,66
Razão	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2

10.2.2 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 2914/11 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Contudo, a Portaria MS 2914/11, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade (**item 2.6**). No caso específico da PHA, para os 250 poços cujas águas foram analisadas quimicamente, o pH é normalmente ácido no momento da coleta, mas tão logo sofre aeração no reservatório ou até mesmo dentro do próprio poço, tende a atingir a neutralidade e ao final normalmente se enquadra na faixa prescrita pela Portaria MS 2914/11.

De acordo com a estatística descritiva mostrada na **tabela 10.4**, nas águas subterrâneas da PHA, os valores de pH *in situ* encontrados no período chuvoso ficaram compreendidos entre 2,3 e 8,2, com média de 5,40 e mediana igual a 5,37. No período seco, os valores oscilaram entre um mínimo de 3,0 e um máximo de 8,8, apresentando média de 5,28 e mediana de 5,10.

Tabela 10.4 – Estatística descritiva do pH *in situ* da PHA no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

pH	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
pH-1	250	5,40	5,27	5,53	5,37	2,3	8,2	1,03	0,07	0,34
pH-2	250	5,28	5,18	5,38	5,10	3,0	8,8	0,84	0,05	0,99

Os histogramas de frequência de pH *in situ* e respectivas curvas ajustadas à lei normal de distribuição de probabilidade para o período chuvoso de abril 2012 e para o período seco de outubro de 2012 são apresentados na **figura 10.2**.

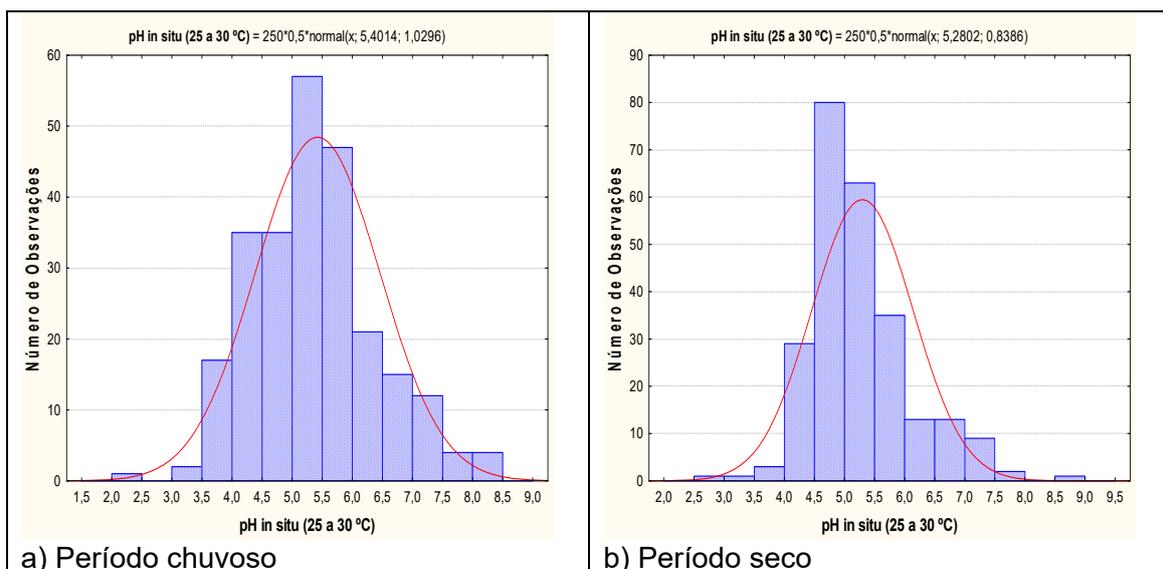


Figura 10.2 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do pH *in situ* da PHA, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Na **tabela 10.5** são indicados, com risco calculado, os valores estimados do pH *in situ* na PHA para o período chuvoso e para o período seco. Os resultados mostram que em ambos os períodos as águas se caracterizam como geralmente ácidas, mas com uma leve tendência de aumento da acidez no período seco, segundo o modelo adotado.

Tabela 10.5 – Distribuição de probabilidade do pH *in situ* da PHA no período chuvoso – abril de 2012 (pH-1) e no período seco – outubro de 2012 (pH-2).

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
pH-1	5,40	6,27	6,72	7,09	7,52	7,80
pH-2	5,28	5,99	6,35	6,66	7,00	7,23
Razão	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1

Essa tendência de aumento da acidez no período de estiagem pode ser resultado da presença do gás carbônico, um componente habitual da acidez das águas naturais, que apesar de não chegar a provocar profundas condições de acidez nas águas, é um elemento importante por estar sempre presente, mediante sua dissolução na água proveniente da atmosfera, por diferença de pressão parcial (Lei de Henry) ou por resultar, em caso de águas poluídas, da decomposição aeróbia ou anaeróbia da matéria orgânica. Isto ocorre também no hipolímnio de lagos estratificados e em águas subterrâneas, especialmente aquelas com níveis reduzidos de carbonatos (Piveli, 2004).

10.2.3 – Dureza

A estatística descritiva da dureza das águas subterrâneas da PHA (**tabela 10.6**) mostra que no período chuvoso os valores oscilaram entre 0,13 e 417,46 mg/L, com média de 25,29 mg/L e mediana de 5,73 mg/L. No período de estiagem, a dureza variou de 0,09 a 342,07 mg/L, com média de 22,02 mg/L e mediana de 5,45 mg/L.

Tabela 10.6 – Estatística descritiva da Dureza da PHA no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

Dureza	N	Média	Confiança 95%	Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
D-1	250	25,29	18,49	32,09	5,73	0,13	417,46	54,60	3,45
D-2	250	22,02	16,26	27,77	5,45	0,09	342,07	46,22	2,92

De acordo com Von Sperling (2005), em termos de tratamento e abastecimento público, as águas da PHA podem ser classificadas de acordo com seu grau de dureza (**item 2.10**) no período chuvoso em 88,8% (222/250) do tipo mole, 4,4% (11/250) moderadas, 6,4% (16/250) duras e 0,4% (1/250) muito duras; e no período de estiagem, 88,8% (222/250) do tipo mole, 6,4% (16/250) moderadas, 4,4% (11/250) duras e 0,4% (1/250) muito duras.

Nenhum dos poços amostrados nas duas campanhas ultrapassou o VMP recomendável pela Portaria MS 2914/2011, de 500 mg/L de CaCO₃ (**item 2.10**).

Os histogramas de frequência dos teores de dureza ilustrados na **figura 10.3** nos dois períodos de amostragem foram modelados por funções de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela um viés estatístico para dureza com diferentes riscos, não sendo possível avaliar de modo conclusivo a influência da sazonalidade por meio da modelagem geoestatística (**tabela 10.7**). Desse modo, com base nos dados de média e mediana apresentados na estatística descritiva (**tabela 10.6**) verifica-se que os teores de dureza são muito próximos e, portanto, não há influência da sazonalidade.

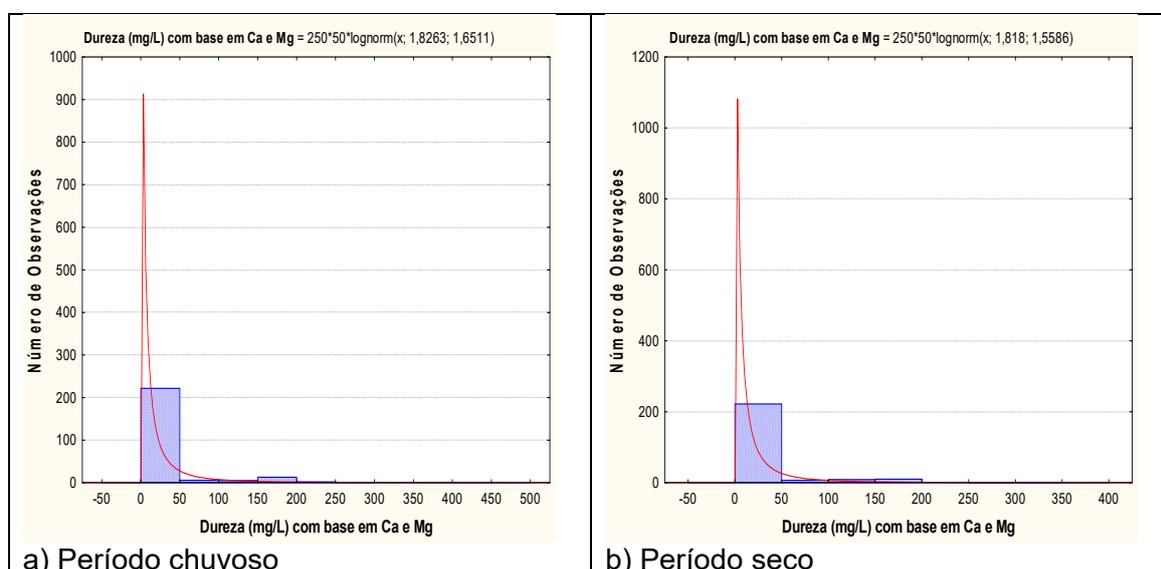


Figura 10.3 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade da Dureza da PHA, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

De modo geral, as águas da PHA são do tipo mole, o que se deve provavelmente aos altos índices pluviométricos da região Amazônica associada às elevadas temperaturas, o que contribui consideravelmente para a menor mineralização da água subterrânea.

Algumas poucas amostras que apresentaram teores mais elevados de dureza se devem as condições geológicas locais, como no caso do aquífero Pirabas

que possui litologia carbonática ou são justificáveis pela influência antrópica, onde as características da água se relacionam com os produtos de atividades humanas desenvolvidas na superfície e elevam os teores de cálcio e magnésio, o que conseqüentemente aumenta o teor de dureza.

Tabela 10.7 – Distribuição de probabilidade da Dureza da PHA no período chuvoso (D-1) - abril de 2012 e no período seco (D-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
D-1	6,21	1,55	0,75	0,41	0,21	0,13
D-2	6,16	1,66	0,84	0,47	0,25	0,16
Razão	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8

10.2.4 - Nitrato

A **tabela 10.8** mostra a estatística descritiva dos teores de nitrato presentes nas águas subterrâneas da PHA nas duas campanhas de amostragem realizadas. No período chuvoso, as concentrações de nitrato variaram de 0,09 a 19,17 mg/L, com média de 3,27 mg/L e mediana de 1,23 mg/L. No período seco, os teores ficaram compreendidos entre 0,09 a 15,08 mg/L, com média de 2,68 mg/L e mediana de 0,98 mg/L.

Tabela 10.8 – Estatística descritiva do Nitrato da PHA no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

Nitrato	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
N-1	250	3,27	2,73	3,81	1,23	0,09	19,17	4,33	0,27	1,62
N-2	250	2,68	2,25	3,11	0,98	0,09	15,08	3,44	0,22	1,49

Na primeira campanha, 19,2% (48/250) das amostras apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L; e 0,8% (2/250) dos poços apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,2 mg/L. Na segunda campanha, 16% (40/250) apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,1 mg/L e 6,4% (16/250) dos poços apresentaram teores de nitrato abaixo do limite de detecção de 0,2 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Na primeira e segunda campanha, respectivamente, 10,8% (27/250) e 6,4% (16/250) das amostras apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011 (**item 2.11**), além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**tabela 2.3**). Porém, todas as amostras analisadas nas duas campanhas poderiam ser utilizadas para a dessedentação animal, haja vista que não ultrapassaram os limites definidos pela Resolução citada.

Os histogramas de frequência de nitrato (**figura 10.4**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Os resultados da modelagem geoestatística (**tabela 10.9**) permitem concluir que os teores de nitrato das águas subterrâneas da PHA são quase iguais em ambos os

períodos de coleta, sugerindo que não há influência da sazonalidade, haja vista que a razão entre os valores das campanhas são muito próximas ou iguais a 1 (um).

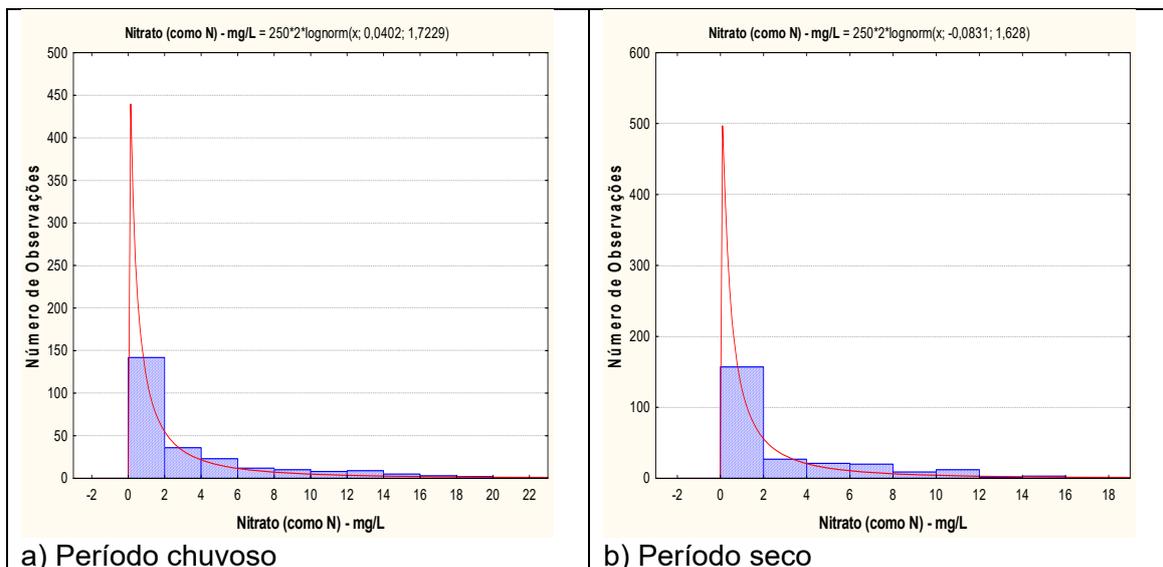


Figura 10.4 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Nitrato da PHA, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Segundo Mello *et al.* (1984), o nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim se transforma na substância inorgânica denominada nitrato, que possui grande mobilidade no solo alcançando o manancial subterrâneo. O nitrato, por possuir essas características se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

Diante disso, fica evidente que os valores de nitrato encontrados nas águas da PHA, em ambas as campanhas, se devem a contaminação oriunda, principalmente da ausência de saneamento básico, cuja propagação se torna mais fácil devido as constantes inundações dos rios na região Amazônica.

Tabela 10.9 – Distribuição de probabilidade do Nitrato da PHA no período chuvoso (N-1) - abril de 2012 e no período seco (N-2) – outubro de 2012.

$P(x \geq a)$	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
N-1	1,04	0,24	0,11	0,06	0,03	0,02
N-2	0,92	0,23	0,11	0,06	0,03	0,02
Razão	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

10.2.5 – Ferro

A estatística descritiva dos teores de ferro nas águas subterrâneas da PHA (**tabela 10.10**) mostra, no período chuvoso, valores compreendidos entre 0,00009 e 20,42 mg/L, com média de 0,68 mg/L e mediana de 0,06 mg/L. No

período seco, os teores variaram de 0,0009 mg/L a 26,63 mg/L, com média de 0,83 mg/L e mediana de 0,06 mg/L.

Tabela 10.10 – Estatística descritiva do Ferro da PHA no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

Fe	N	Média	Confiança 95%		Mediana	Min	Max	Desvio Padrão	Erro Padrão	Assimetria
Fe-1	250	0,68	0,42	0,94	0,06	0,00009	20,42	2,08	0,13	5,59
Fe-2	250	0,83	0,45	1,20	0,06	0,0009	26,63	3,04	0,19	6,28

Na primeira campanha, 4% (10/250) das amostras apresentaram teores de ferro abaixo do limite de detecção de 0,0001 mg/L. Na segunda campanha, 5,6% (14/250) das amostras apresentaram teores de ferro abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Os limites de detecção dependem do método utilizado e podem variar para o mesmo parâmetro (**item 1.4**).

Dentre o total de amostras analisadas nas duas campanhas, 29,2% (73/250) dos poços no período chuvoso e 27,2% (68/250) no período de estiagem, apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria MS 2914/2011, além de não serem indicadas para consumo humano e para recreação, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Além disso, cerca de 4% (10/250) dos poços na primeira campanha e 3,2% (8/250) dos poços na segunda campanha apresentaram teores de ferro que ultrapassaram os limites recomendados para irrigação, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (**item 2.12**).

Os histogramas de frequência de ferro (**figura 10.5**), representativos dos pontos amostrados nas coletas de abril e outubro de 2012, foram modelados por uma função de distribuição de probabilidade lognormal. Esse modelo de fdp revela com diferentes riscos, que os teores de ferro no período de estiagem são mais elevados, o que sugere influência da sazonalidade (**tabela 10.11**).

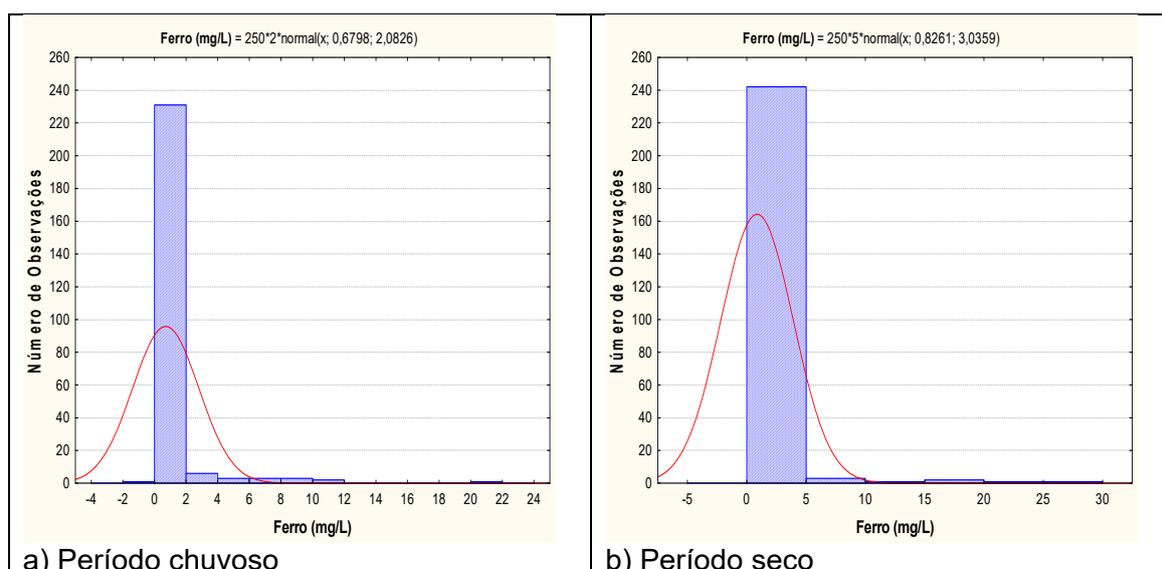


Figura 10.5 – Histograma de frequência e curva normal de distribuição de probabilidade do Ferro da PHA, no período chuvoso – abril de 2012 e no período seco – outubro de 2012.

Os teores de ferro mais elevados na PHA no período de estiagem são consistentes, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que produz a oxidação do ferro. Aliado a isso, as águas da PHA são mais ácidas no período de estiagem, o que também favorece a oxidação do ferro e conseqüentemente a sua presença em maior quantidade nas águas subterrâneas.

De modo geral, os aquíferos da PHA apresentam altos teores de ferro dissolvido na água subterrânea, os quais resultam principalmente das condições de pH e Eh em águas ácidas reduzidas, conforme descrito no **item 2.12**.

Tabela 10.11 – Distribuição de probabilidade do Ferro da PHA no período chuvoso (Fe-1) - abril de 2012 e no período seco (Fe-2) – outubro de 2012.

P(x≥a)	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Fe-1	0,6798	2,43256	3,348759	4,105372	4,956937	5,524652
Fe-2	0,8261	3,381178	4,716762	5,819711	7,061076	7,88866
Razão	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Segundo Mazzeo (1991), as águas subterrâneas da região amazônica apresentam concentrações elevadas de ferro e outros elementos, sendo sua retirada, um dos principais problemas enfrentados pelas estações de tratamento de água.

10.2.6 – Parâmetros Biológicos

Coliformes Totais

A qualidade bacteriológica de uma água para avaliar a contaminação por dejetos humanos e de outros animais de sangue quente é feita através de bactérias do grupo coliformes, principalmente os Coliformes Totais e *Escherichia Coli* ou Coliformes Termotolerantes, conforme descrito no **item 2.16**. A Portaria MS 2914/2011 estabelece como padrão microbiológico da água para consumo humano a ausência de coliformes totais em 100 mL de água.

No período chuvoso (abril de 2012), as águas da PHA, apresentaram em 51% (127/250) dos casos a presença de coliformes totais, enquanto que no período de estiagem (outubro de 2012), a presença ocorreu em 54% (135/250) das amostras (**tabela 10.12**).

Tabela 10.12 – Valores de C.Totais na PHA nas duas campanhas de amostragem.

C. Totais	Abril de 2012	Outubro de 2012
Presente	127	135
Ausente	123	115

Com base nos padrões microbiológicos definidos pela Portaria MS 2914/2011, 49% (123/250) dos poços na primeira campanha e 46% (115/250) na segunda campanha apresentaram águas recomendadas para consumo humano (**tabela 10.12**), o que representa um risco para a saúde, haja vista que a população da

área de estudo utiliza a água dos poços para todos os usos, principalmente o doméstico.

Tais resultados ocorrem na PHA, pois as cidades da região Amazônica não possuem sistema de esgotamento sanitário adequado, o que segundo Zoby (2008) é extremamente preocupante, pois a falta de saneamento representa um risco direto à potabilidade das águas subterrâneas pela infiltração por fossas sépticas e pelo vazamento de redes de esgoto.

Escherichia Coli

É uma bactéria não patogênica, do grupo de coliformes fecais (termotolerantes), que normalmente habita os intestinos dos animais superiores. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas à contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros, conforme descrito no **item 2.16**.

A Portaria MS 2914/2011 e a Resolução CONAMA 396/2008 estabeleceram como padrão biológico para consumo humano a ausência de *E. coli* em 100 mL de água. A Resolução CONAMA também estabelece limites para dessedentação animal e recreação, conforme pode ser observado na **tabela 2.11 (item 2.16)**.

Na primeira e segunda campanha, respectivamente, 17,2% (43/250) e 15,2% (38/250) dos poços indicaram a presença de *E. coli*.

Com base nos resultados das análises verifica-se que 82,8% (207/250) das amostras na primeira campanha e 84,8% (212/250) dos poços na segunda campanha apresentaram águas dentro dos padrões biológicos recomendados pela Portaria MS 2914/2011, bem como nos limites definidos pela Resolução CONAMA 396/2008, indicando que as suas águas podem ser utilizadas para consumo humano, dessedentação animal e recreação (**tabela 10.13**).

Tabela 10.13 – Valores de *E. Coli* na PHA nas duas campanhas de amostragem.

<i>E. Coli</i>	Abril de 2012	Outubro de 2012
Presente	43	38
Ausente	207	212

De acordo com Colvara *et al.* (2009), vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços artesianos em uma propriedade, tanto rural quanto urbana, a exemplo, da falta de manutenção do reservatório; localização inadequada do poço; e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo.

Silva & Araújo (2003) relatam que o destino final do esgoto doméstico e industrial em fossas e tanques sépticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, postos de combustíveis e de lavagem e a modernização da agricultura representam fontes de contaminação das águas subterrâneas por bactérias e vírus patogênicos, parasitas e substâncias orgânicas e inorgânicas.

Dessa forma, fica evidente que a presença de *E. coli* na PHA se deve provavelmente pelo lançamento de esgoto *in natura*, que infiltra no solo e contribui para a contaminação do lençol freático, o que é extremamente

preocupante, pois pode acarretar na população doenças de veiculação hídrica, tais como, amebíase, giardíase, gastroenterite, febres tifoide e paratifoide, hepatite infecciosa e cólera.

10.3 – Conclusões Gerais sobre a Qualidade das Águas na PHA

A análise físico-química das águas da PHA revelaram tendência sazonal por meio da estatística descritiva para os parâmetros STD, pH *in situ* e ferro, enquanto que os parâmetros dureza e nitrato foram muito próximos nas duas campanhas e, portanto, sugerem que não há influência da sazonalidade.

Os teores de STD foram mais elevados na PHA no período chuvoso, o que é coerente, devido às inundações periódicas dos rios da região Amazônica, que carregam sedimentos em suspensão.

Os resultados de pH *in situ* mostram que em ambos os períodos de coleta as águas da PHA se caracterizam como geralmente ácidas, mas com uma leve tendência de aumento da acidez no período seco, o que pode ser resultado da presença do gás carbônico, um componente habitual da acidez das águas naturais.

De modo geral, as águas da PHA são do tipo mole, o que se deve provavelmente aos altos índices pluviométricos da região Amazônica associada às elevadas temperaturas, o que contribui consideravelmente para a menor mineralização da água subterrânea, e conseqüentemente baixos teores de dureza.

A presença de nitrato nas águas da PHA, em ambas as campanhas, inclusive com teores acima do VMP de potabilidade para consumo humano, se devem a contaminação recente, oriunda principalmente da ausência de saneamento básico, cuja propagação se torna mais fácil devido as constantes inundações dos rios na região Amazônica.

Os teores de ferro na PHA se apresentam mais elevados no período de estiagem, pois a zona de aeração, que no período chuvoso se encontra quase totalmente saturada por águas de infiltração em movimento, volta a ter espaços vazios preenchidos por oxigênio, o que produz a oxidação do ferro. Aliado a isso, as águas da PHA são mais ácidas no período de estiagem, o que também favorece a oxidação do ferro e conseqüentemente a sua presença em maior quantidade nas águas subterrâneas.

A análise dos parâmetros biológicos indicou a presença nas duas campanhas de Coliformes Totais e de *E. Coli* nas águas da PHA, fato extremamente relevante para a saúde ambiental da região, pois a presença do primeiro indica as condições sanitárias do ambiente, ou seja, sugere que está ocorrendo lançamento de esgotos na água, enquanto que a presença do segundo dá indícios de que existe excretas de origem humana e/ou animal na água.

Tais resultados correspondem à contaminação das águas subterrâneas da PHA por fossas sépticas, devido à ausência de sistema de esgotamento sanitário na região, e também pelo fato de que os poços tubulares, em sua maioria, são pouco profundos e construídos com técnicas inapropriadas, que deixam os espaços anelares sem a devida proteção sanitária. A ocorrência desses parâmetros biológicos é alarmante, pois pode ocasionar na população doenças de veiculação hídrica. Essa situação requer medidas preventivas

urgentes, tais como, implantação de sistema de esgotamento sanitário, pois caso contrário à disponibilidade de água da região será comprometida pela qualidade, o que já vem sendo notado em algumas regiões metropolitanas da região Amazônica, segundo pesquisas de instituições locais, universidades e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

11 – Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil: 2013**. Brasília: ANA, 2013. 432p.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, vol. 32, n. 2, p.160-165, 1998.

APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. **Geochemistry, groundwater and pollution**. USA: CRC Press, 1993, 536p.

BAHIA, V.; FENZL, N.; MORALES, G. P. Caracterização da qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Utinga/Belém (PA) - a partir de dados hidrogeoquímicos. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, Natal - RN. **Anais**. Natal: ABAS, 2008. 20p.

BARATA, C. F.; CAPUTO, M. V. Geologia do petróleo da bacia do Solimões. o "estado da arte". In: 4º PDPETRO, 2007, Campinas - SP. **Anais**. Campinas: ABPG, 2007. 10p.

BARCELONA, M. J.; GIBB, J. P.; HELFRICH, J. A.; Garske, E. E. Practical Guide for Ground-Water Sampling. **Illinois State Water Survey Champaign**, Illinois - USA, 1985.

BARROS, A. M.; ALVES, E. D. O.; ARAÚJO, J. F. V.; LIMA, M. I. C.; FERNANDES, C. A. C. **Geologia**. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SB/SC.18 – Javari/Contamana - Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, 1977. p. 17-101.

BERNARDI, J. V. E.; LACERDA, L. D.; DÓREA, J. G.; LANDIM, P. M. D. B.; GOMES, J. P. O.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A. G.; BASTOS, W. R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no Alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, vol. 23, n. 1, p. 79-90, 2009.

BOHN, H. L. Redox potentials. **Soil Science**, v. 112, nº 1, p.39-45, 1970.

BOUMAN, Q. C. **Geology of the rio Uatumã, rio Abacate and surrounding areas**. Belém: PETROBRÁS; RENOR (Relatório Técnico Interno, 288A), 1959.

BRASIL. Ministério da Saúde - MS. **Portaria MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Brasília, DF, Diário oficial da União nº 239, de 14 de dezembro de 2011, Seção 1, páginas 39-46.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, DF, Diário oficial da União nº 53, de 18 de março de 2005, Seção 1, páginas 58-63.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008**. Brasília, DF, Diário oficial da União nº 66, de 07 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.

BRITO, F. V.; OLIVEIRA, A. S.; NEVES, H. C.; AZEVEDO, J. A. T.; BHERING, D. L.; REIS, S. M.; MACHADO, M. C. S.; AZEVEDO, G. C.; CARVALHAES, G. K. Estudo da Contaminação de Águas Subterrâneas por BTEX oriundas de postos de distribuição no Brasil. In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005, Salvador – BA. **Anais**. Salvador: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP) e UNIFACS, 2005.

CABRAL, N. M. T.; LIMA, L. M. Comportamento hidrogeoquímico das águas do aquífero Barreiras nos bairros centrais de Belém, Pará. **Ciências Naturais**, vol.1, nº 1, p.149-166, 2006.

CAMPOS, J. C. V. Aproblemática dos recursos hídricos subterrâneos na Amazônia na visão do Serviço Geológico do Brasil - CPRM. In: Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, I, 2003, Petrópolis - RJ. **Anais**. Rio de Janeiro: ABAS, 2003. p.133-141.

CAMPOS, J. C. V. Avaliação Preliminar do Potencial Hidrogeológico da Cidade de Porto Velho - RO. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, X, 1998, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: ABAS, 1998.

CAMPOS, T. S.; ROHLFS, D. B. Avaliação dos valores de nitrato em águas subterrâneas e sua correlação com atividades antrópicas no município de Águas Lindas de Goiás. In: V Mostra de Produção Científica da Pós-Graduação Lato Sensu da PUC Goiás, 2010, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: PUC, 2010.

CAPUTO, M. V. **Relatório preliminar de exploração da bacia do Acre**. Belém: PETROBRÁS; RENOR (Relatório Técnico Interno, 665 A), 1973. 24p.

CAPUTO, M. V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. Tese de Doutorado, Califórnia University, 1984. 586p.

CAVALCANTE, L. M. **Zoneamento geológico e geomorfológico entre Feijó e Mâncio Lima – Acre**. Rio Branco: EMBRAPA - Acre, 2005. 24 p.

CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. **Revista Geografia**, Londrina, vol. 8, n. 1, p. 91-97, 1999.

CLARK, I.; FRITZ, P. **Environmental Isotopes in hydrogeology**. USA: Lewis Publishers, 1997. 328p.

COLVARA, J. G.; LIMA, A. S.; SILVA, W. P. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, II SSA, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Níquel e seus compostos**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Zinco**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Fenol**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo - Série Relatórios - Apêndice A: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2009. 43p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de qualidade de águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2007.

CORRÊA, I. S. Aplicação do Diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó - PA. **Pesquisas em Geociências**, vol. 32, nº 2, p.109-118, 2005.

CORTEZ, C. M. B.; TAGLIARINI, E. M.; TANCREDI, A. C. F. N. S. Utilização de águas minerais dos aquíferos do grupo Barreiras na região de Belém (PA). In: 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000, Fortaleza - CE. **Anais**. Fortaleza: ABAS, 2000. 11p.

COSTA, M. R. M.; ÁVILA, P. F. **Geoquímica das águas subterrâneas: Parte I: Reações de equilíbrio: conceitos teóricos e exercícios de aplicação**. Vila Real: UTAD, 2010.

CRAIG, H. **Isotopic Variations in Meteoric Waters**. Science, New Series, vol. 133, nº 3465, p.1702-1703, 1961.

CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F. G.; CONTINHO, L. F. C.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Amazonas. **Boletim Geociências da Petrobras**, vol.8, n.1, p.47-55, 1994.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterránea**. Madrid: Omega, vol. 2, 1983. 2359p.

DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A. G. GSLIB. **Geostatistical Software Library and User's Guide**. Oxford University Press, 1998. 1 CD-ROM.

DOS ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. M.; WADT, P. G. S.; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G. **Guia de campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2013. 204p.

ECOLOGY BRASIL. **UHE - Santo Antonio no rio Madeira: Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Fase de enchimento e estabilização**. Relatório 10, 2011.

ENZWEILER, J. **Aula 5: Amostragem de águas e parâmetros de qualidade**. São Paulo: UNICAMP, 2010. 12p. Disponível em: <<https://www.ige.unicamp.br/site/aulas/9/Aula5.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2014.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FAZZIO, A. L.; SILVA, F. V.; XAVIER, H. V. S.; FERREIRA, I. V. L.; FREIRE, C. C. Avaliação da Contaminação das Águas Subterrâneas na Cidade de Maceió. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande - MS. **Anais**. Campo Grande: ABAS, 2009. p.1-18.

FEIJÓ, F. J.; SOUZA, R. G. Bacia do Acre. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, vol.8, nº 1, p.9-16, 1994.

FEITOSA, F. A. C.; Manoel Filho, J. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM-UFPE, 2000. 412p.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM – LABHID, 2008. 812p. 3ª Edição.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação. 1999. 212p. **Tese de Doutorado em Computação Aplicada** - INPE, São José dos Campos, 1999.

FORTI, M.C.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M. Rainwater and throughfall chemistry in a “terra firme” rain forest: Central Amazonia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, vol. 96, p. 7415-7421, 1991.

FREEZE, R. A.; Cherry, J. A. **Groundwater**. USA: Prentice Hall, 1979. 604p.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Software Qualigraf**, 2010.

GOMES, T. L. D.; GALARZA, M. A.; SILVA, I. R. F. Caracterização das águas dos sistemas barreiras e pirabas com base em dados hidrogeoquímicos nos municípios de Benevides, Marituba e Santa Isabel (PA). In: 13º Simpósio de Geologia da Amazônia, 2013, Pará - PA. **Anais**. Pará: UFPA, 2013. p.595-598.

GONÇALES, V. G.; GIAMPÁ, C. E. Q. **Águas Subterrâneas e poços tubulares profundos**. São Paulo: Signus Editora, 2006.

GOOVAERTS, P. **Applied Geostatistics Series: Geostatistics for Natural Resources Evaluation**. New York: Oxford, 1997. 489p.

GREGÓRIO, A. M. S.; MENDES, A. C. Batimetria e sedimentologia da Baía de Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, vol. 5, nº 9, p.53-72, 2009.

HEM, J. D. Restraints on dissolved ferrous iron imposed by bicarbonate, redox potential, and pH. **U.S. Geological Survey Water-Supply Paper**, 1459-B, p.33-55, 1960.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. USA: U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 2254, 1985. 248p.

HINDI, E. C. Caracterização hidroquímica e hidrogeológica das fontes cársticas das bacias dos rios Tumiri, Água Comprida, Fervida e das Onças – Colombo - PR. **Boletim Paranaense de Geociências**. Editora da UFPR, n.9, p. 95-114, 2001.

JARDIM, W. F. Medição e interpretação de valores do potencial redox (Eh) em matrizes ambientais. **Química Nova**, vol.37, nº7, p.1233-1235, 2014.

KAUFMAN, S.; LIBBY, W. F. The natural distribution of tritium. **Phys. Review**, vol. 93, nº 6, p.1337-1344, 1954.

KEITH, L. H. **Compilation of Epa's Sampling and Analysis Methods**. USA: CRC Press, 1996. 1696p.

LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. **Introdução à Química da Água: Ciência, vida e sobrevivência**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LEPRUN, J. C.; SANTOS, R. D.; CERRI, C. C. Composição das Águas de Percolação de Solos no Estado de Rondônia. **Geochimica Brasiliensis**, vol.3, nº 1, p.23-31, 1989.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. **Revista Acta Amazônica**, Manaus - AM, vol.35, nº 3, p.317-330, 2005.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas d'água**. Recife: U.S Agency for International Development - USAID, 1965. 67p.

LOPES, F. C. C.; LIMA, J. R.; LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G.; LEITÃO, J. C. Comportamento anual da alcalinidade em águas subterrâneas de Crateús - CE. In: 5º Congresso Norte-Nordeste de Química & 3º Encontro Norte-Nordeste de Ensino de Química, 2013, Natal - RN. **Anais**. Natal: UFRN, 2013.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Org.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus: EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2009. p.172-188. cap. 13.

MATTA, M. A. S.; ALMEIDA, F. M.; DIAS, E. R. F.; BANDEIRA, I. C. N.; FIGUEIREDO, A. B. Geometria dos sistemas aquíferos da bacia hidrográfica do Paracuri - Belém/PA, como base para uma proposta de abastecimento de água subterrânea. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: ABAS, 2004.

MAZZEO, T. E. **Avaliação Ambiental dos Rios de Drenagem da Região Metropolitana de Belém - PA quanto a Distribuição dos Elementos: Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn**. 1991. 141f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Pará, Pará, 1991

MCKEE, J. E.; WOLF, H. W. Water Quality Criteria. **State Water Quality Control Board**, Sacramento, California, Pub. 3-A, 1963.

MCNEELY, R. N.; NEIMANIS, V. P.; DWYER, L. **Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters**. Canadá: Water Quality Branch, 1979. 89p.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Ed. Distribuidora, 1984. 400p.

MERKEL, B. J.; FRIEDRICH, B. P. **Groundwater geochemistry: a Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems**. USA: Springer, 2008. 230p.

MILANI, E. J.; BRANDÃO, J. A. S. L.; ZALÁN, P. V.; GAMBOA, L. A. P. Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas. **Brazilian Journal of Geophysics**, vol.18, nº3, p.351-396, 2000.

MORAES, D. **Bioma Amazônia**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1999. Disponível em: <<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=958&sid=2>>. Acesso em: 01 junho 2014.

MOREIRA, E. **Belém e sua expressão geográfica**. Belém: Imprensa universitária, 1966. 212p.

MÜNNICH, K. O. Messung des ^{14}C gehaltes von hartem grundwasser. **Naturwiss**, 44, p. 32-39, 1957.

NARCISO, M. G.; GOMES, L. P. Qualidade da água subterrânea para abastecimento público na Serra das Areias, Aparecida de Goiânia - GO. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, vol.21, nº 21, p.4-18, 2004.

NIELSEN, D. M.; NIELSEN, G. L. **The Essential Handbook of Ground-water Sampling**. New York: CRC Press, 2007. 310 p.

OBIEFUNA, G. I.; SHERIFF, A. Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, vol.3, p.131-141, 2011.

OLIVEIRA FILHO, O. B. Q. **Investigação de mistura de águas entre o Sistema Barreiras e Pirabas com base na Assinatura Isotópica de Estrôncio (Sr) e Hidrogeoquímica em Ananindeua, Belém e backgrounds em Benevides e Capanema, Pará**. 2012. 82p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, 2012.

OLIVEIRA, J. R.; CONCEIÇÃO, A. L.; TANCREDI, A. F. N. S. Estudo das potencialidades hídricas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1998, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: ABAS, 1998. 8p.

OLIVEIRA, J. R.; MACIEL, R.; CENTENO JUNIOR, F.; PONTES, A.; BEZERRA, J. C. Poços tubulares profundos para aumentar o fornecimento de água potável do sistema de abastecimento da COSANPA no loteamento CDP. In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2014, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: ABAS, 2014. 18p.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2011. 67p.

PEDROSA, C. A.; CAETANO, F. A. **Águas Subterrâneas**. Brasília: Agência Nacional de Águas - ANA, 2002. 85p.

PEREIRA, S.; CAVALCANTE, I. N.; GOMES, D. F.; GOMES, M. C. R.; MOURA, I. B. M. A qualidade das águas subterrâneas na porção Oeste da faixa costeira do município de Fortaleza, Ceará. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2008, Natal - RN. **Anais**. Natal: ABAS, 2008. p.1-16.

PICANÇO, F. E. L.; LOPES, E. C. S.; SOUZA, E. L. Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém/PA. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, São Paulo - SP. **Anais**. São Paulo: ABAS, 2002. 17p.

PINHEIRO, R. V. L. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém/PA**. 1987. 164 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Geociências - Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, 1987.

PIVELI, R. P. **Curso: Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos - Aula 6: características químicas das águas: pH, acidez, alcalinidade e dureza**. São Paulo: LEB - ESALQ - USP, 2004. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo%206%20-%20Alcalinidade%20e%20Acidez.pdf>>. Acesso em: 16 abril 2014.

POHLING, R. **Reações químicas na análise de água**. Fortaleza: Arte Visual, 2009.

PORTO, L. J. L. S. **Estudo da qualidade dos sedimentos de fundo do rio Barcarena - PA**. 2009. 91f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM - PMB. **Dossiê de Candidatura - Belém/Pará/Brasil: Cidade Coordenadora e Sede do Secretariado Técnico do Grupo de Trabalho Gestão Participativa dos Rios Urbanos de Cidades da América Latina e Caribe**. Belém: SEGEP/PMB, 1999. 82 p.

PULS, R. W.; BARCELONA, M. J. Ground Water Sampling for Metals Analysis. In: BOULDING, J. R. (Edited by). **EPA - Environmental Assessment Sourcebook**. USA: Ann Arbor Press, p.337-345, 1989.

RAMOS, J. 2004. **Poluição e contaminação da orla de Belém - PA**. In: UHLY, S.; SOUZA, E. L. (Eds). A questão da água na grande Belém. Belém: Casa de Estudos Germânicos - UFPA. p. 121-148.

RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 29p.

RIBEIRO, K. T. S. **Água e saúde humana em Belém**. Belém: Cejup, 2004. 280p.

RODRIGUES, R. C.; MATTOS, H. B.; PLESE, L. P. M.; PEREIRA, W. L. M. P.; BRENNECKE, K. Calagem e disponibilidade de nutrientes após a incubação de um neossolo quartzarêmico. **B. Indústria. Anim., N. Odessa**, vol.61, n.1, p.31-38, 2004.

SANTOS, A.; RIBEIRO, M. N. G.; RIBEIRO, J. S.; BRINGEL, S. R. B. Hidroquímica da Amazônia Central III: Química de água de lavagem da floresta no ecossistema Campina Amazônia (Stemflow). **Acta Amazônica**, vol. 11, p. 335-346, 1981.

SANTOS, M. L. S.; HOLANDA, P.; PEREIRA, I.; RODRIGUES, S.; PEREIRA, J. A. R.; MESQUITA, K. Influência das Condições da Maré na Qualidade de Água do Rio Guamá e Baía do Guajará. **Boletim Técnico Científico do CEPNOR - Tropical Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, vol. 14, nº 1, p.17-25, 2014.

SANTOS, T. B.; MANCINI, F.; ROSTIROLLA, S. P.; BARROS, C. E. M.; SALAMUNI, E. Registro da deformação pós-paleozóica na Bacia do Amazonas, região de Itaituba (PA). **Revista Brasileira de Geociências**, vol.41, n.1, p.95-107, 2011.

SCHMIDT, C. A. B. **Remediação in situ de solos e águas subterrâneas contaminados por líquidos orgânicos não miscíveis em água (NAPLs). Série Temática: Resíduos Sólidos e Geotecnia Ambiental – Volume 1.** Rio de Janeiro: COAMB / FEN / UERJ / 2010. 62 p.

SCHOELLER, H. Géochimie des Eaux Souterraines. Paris: **Revue de l'Institut Français du Pétrol**, vol. 10, p. 230-244, 1955.

SCHOELLER, H. **Les Eaux Souterraines**. Paris: Masson, 1962.

SCHWARZBACH, M. S. R.; MORANDI, I. C. Avaliação da variabilidade temporal das características físicoquímicas das águas subterrâneas dos poços tubulares profundos do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000, Fortaleza – CE. **Anais**. Fortaleza: ABAS, 2000. p.1-18.

SCOMAZZON, A. K. **Estudo de conodontes em carbonatos marinhos do grupo Tapajós, pensilvaniano inferior a médio da bacia do Amazonas com aplicação de isótopos de Sr e Nd neste intervalo.** 2004. 294f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre - RS, 2004.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG.** BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Org.). CPRM: Brasília, 2003. 692p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Projeto estudos hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e adjacências.** Belém: CPRM, 2002. 93p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. COUTINHO, M. G. N. (Org.). **Província mineral do Tapajós: geologia, metalogenia e mapa preliminar para Ouro em SIG.** Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 420p.

SILVA, F. A. S. Software ASSISTAT: versão 7.7. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

SILVA, P. A. S. **Paleoambiente e diagênese da Formação Itaituba, carbonífero da bacia do Amazonas, com base em testemunho de sondagem, região de Uruará, Pará.** 2014. 77p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, 2014.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, vol.8, n.4, p.1019-1028, 2003.

SIOLI, H. **Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais.** Petrópolis - RJ: Editora Vozes, 1985. 72p.

SNOEYINK, V. L.; JENKINS, D. **Water Chemistry.** New York: John Wiley & Sons, 1980. 463p.

SUASSUNA, J. **O processo de salinização das águas superficiais e subterrâneas no Nordeste.** Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 2007. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/geral/textos%20online/estudos%20avancados/salinizacao.pdf>>. Acesso em: 16 abril 2014.

SZIKSZAY, M. **Geoquímica das Águas.** São Paulo: Scielo. Boletim IG-USP, Série Didática, nº 5, p.1-166, 1993. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/bigsd/n5/01.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2014.

TANCREDI, A. C. F. S. **Recursos hídricos subterrâneos de Santarém: fundamentos para uso e proteção.** 1996. 146p. Tese (Doutorado em Geoquímica) - Universidade Federal do Pará - UFPA, Pará, 1996.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse.** Inc. METCALF & Eddy. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.

TEIXEIRA, I. E. M. Águas da formação Açú. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, Florianópolis - SC. **Anais.** Florianópolis: ABAS, 2002. p.1-25.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568p.

VIEIRA, A. F. G.; MOLINARI, D. C.; ALBUQUERQUE, A. R. C. Dinâmica erosiva em estradas: BR-174 e Urucu (Amazonas). In: II Simpósio Sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste, 2005, Goiás - GO. **Anais.** Goiás: Universidade Federal de Goiás, 2005. p.49-58.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Vol. 1.** Belo Horizonte: Editora Universitária, 2005. vol. 1. 452p.

YOUNGER, P. L. Hydrogeochemistry of minewaters flowing from abandoned coal workings in County Durham. **Quarterly Journal of Engineering Geology**, vol. 28, p.101-113, 1995.

ZOBY, J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, Natal, Supl. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

WWF - BRASIL. **Caderno do Professor: Tom da Amazônia**. Rio de Janeiro: Projeto Tom da Amazônia & WWF - Brasil, 2005. Disponível em: <<http://www.tomdaamazonia.org.br/index.asp?id=biblioteca>>. Acesso em: 18 dezembro 2015.

12 – ANEXOS

12.1 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Alter do Chão

12.1.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
ALM01	Almeirim	PA	Alter do Chão	29,90	<5	<0,1	197	128,3	6,4	5,84	173,00	15	27,639	19,548	2,59	7,71	2,04	0,4669	0,0438	24,83	3,128	0	1	9,23	<0,02	0,87	0,32	1,19	10,4	0	17
ALM02	Almeirim	PA	Alter do Chão	29,53	<5	<0,1	184	262	5	4,10	140,00	<5	6,20691	21,308	1,48	1,31	0,7151	0,0105	0,0132	24,71	<0,5	0	0	10,09	<0,02	<0,1	0,21	0,21	10,3	0	0
ALM03	Almeirim	PA	Alter do Chão	29,83	<5	<0,1	207	236,9	5,2	4,08	151,00	<5	12,957	19,448	2,16	3,10	1,27	0,4358	0,026	23,26	0,902	0	0	13,23	<0,02	<0,1	0,22	0,22	13,5	0	0
ALM04	Almeirim	PA	Alter do Chão	29,93	<5	<0,1	59	170,9	6	5,29	44,00	<5	2,78127	5,018	0,4116	0,5964	0,3147	2,82	0,00496	7,563	<0,5	0	0	2,28	<0,02	0,10	0,13	0,23	2,5	0	0
ALM05	Almeirim	PA	Alter do Chão	29,90	<5	<0,1	148	222	5,5	4,26	106,00	<5	8,4371	14,818	1,45	1,93	0,8810	0,4366	0,0225	15,3	<0,5	0	0	8,77	<0,02	<0,1	0,23	0,23	9,0	0	0
MAU01	Manaus	AM	Alter do Chão	28,6	<5	0,88	64	171,4	6,1	5,02	46,00	<5	3,63556	3,380	19,9	0,4143	0,6341	<0,0001	0,000731	2,584	<0,5	0	0	1,082	<0,02	<0,1	0,12	0,12	1,2	0	0
MAU02	Manaus	AM	Alter do Chão	29,5	<5	0,60	60	-13,4	7,8	5,69	41,00	<5	13,642	0,820	18,2	3,21	1,37	0,0375	0,00234	12,35	6,54	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	0
MAU03	Manaus	AM	Alter do Chão	29,6	<5	5,1	142	238,1	4,1	3,56	100,00	<5	0,47723	2,327	0,2357	0,0797	0,0678	0,00257	<0,0001	1,284	<0,5	0	0	1,273	<0,02	<0,1	0,17	0,17	1,4	0	0,5
MAU04	Manaus	AM	Alter do Chão	28,9	<5	0,94	37	198,2	5,8	5,84	26,00	14	4,2413	0,770	17,7	0,1992	0,913	<0,0001	<0,0001	<1,0	<0,5	0	0	0,152	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	14
MAU05	Manaus	AM	Alter do Chão	27,8	<5	2,8	16	133,5	5,5	5,08	10,00	237	0,32069	1,265	0,4195	0,0284	0,0609	<0,0001	<0,0001	<1,0	<0,5	0	0	0,47	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	260
MAU06	Manaus	AM	Alter do Chão	28	<5	0,54	63	175	5,9	5,90	46,00	11	1,78767	6,185	2,53	0,4917	0,1362	0,0028	0,000147	4,732	<0,5	0	0	2,91	<0,02	1,3	0,63	1,93	4,8	0	11
MAU07	Manaus	AM	Alter do Chão	28,9	15	1,2	136	180,7	5,9	4,44	93,00	<5	5,78847	13,547	1,41	1,55	0,4667	3,672	0,0475	7,265	<0,5	0	0	7,88	0,075	0,70	0,13	0,83	8,9	0	0
MAU08	Manaus	AM	Alter do Chão	29,2	<5	1,7	20	129,7	5,9	5,60	15,00	11	1,08546	0,362	10,7	0,0560	0,2306	0,00049	0,0002	<1,0	0,533	0	1	0,16	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	11
MAU09	Manaus	AM	Alter do Chão	28	<5	0,43	85	290,5	3,9	6,20	60,00	<5	3,95275	6,760	13,2	0,6381	0,5750	0,0007	0,0275	6,053	<0,5	0	0	6,31	<0,02	0,45	<0,1	0,51	6,8	0	0
MAU10	Manaus	AM	Alter do Chão	32	<5	0,75	96	154,8	5,8	5,90	63,00	<5	0,13249	2,090	0,0250	0,0220	0,0189	0,0979	<0,0001	1,23	<0,5	0	0	0,118	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	0
MAU11	Manaus	AM	Alter do Chão	29,6	<5	<0,1	44	-32	8,2	6,95	32,00	6	0,19286	8,937	0,3236	0,0286	0,0296	0,00811	<0,0001	3,043	<0,5	0	0	3,2	<0,02	<0,1	0,27	0,27	3,5	0	5
MAU12	Manaus	AM	Alter do Chão	30	5	0,51	20	284,2	4,2	6,10	16,00	14	1,55554	0,782	7,97	0,1189	0,3069	<0,0001	<0,0001	<2,0	<1,0	0	0	0,227	<0,02	<0,1	0,22	0,22	<0,5	0	14
MAU13	Manaus	AM	Alter do Chão	31	6	0,64	21	58,7	6,8	5,80	16,00	11	0,94387	0,604	9,41	0,0484	0,2007	0,0163	0,00156	<1,0	<0,5	0	0	0,108	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	10
MAU14	Manaus	AM	Alter do Chão	31	<5	0,72	17	179,8	5,7	5,50	12,00	10	2,13201	0,586	5,25	0,2483	0,3686	0,0395	0,00419	<1,0	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,13	0,13	<0,5	0	12
MAU15	Manaus	AM	Alter do Chão	28,8	<5	0,34	12	163,1	6,2	4,68	9,00	<5	0,43795	0,400	0,0538	0,1186	0,0345	0,000824	0,00662	<1,0	<0,5	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	0

12.1.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
MAU16	Manaus	AM	Alter do Chão	33	<5	2,4	33	131,3	5,8	6,50	24,00	6	1,30458	0,943	0,4862	0,2491	0,1663	0,00869	0,00126	<1,0	<0,5	0	1	2,02	<0,02	<0,1	0,11	0,11	2,1	0	8
MAU17	Manaus	AM	Alter do Chão	32	<5	8,2	27	163,2	6,2	5,02	20,00	<5	1,1759	3,274	2,48	0,2547	0,1315	0,0681	0,00115	<2,0	<1,0	0	1	0,366	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	0,5
MAU18	Manaus	AM	Alter do Chão	26	7	0,67	29	59,7	7,3	5,90	21,00	14	1,86677	1,411	9,91	0,2142	0,3247	0,00486	0,000821	<1,0	<0,5	0	0	0,634	<0,02	<0,1	0,17	0,17	0,8	0	14
MAU19	Manaus	AM	Alter do Chão	30	<5	0,68	39	152,1	6,2	6,80	30,00	11	1,54142	0,645	9,18	0,1062	0,3112	0,008	0,00152	<1,0	<0,5	1	1	0,943	<0,02	<0,1	0,16	0,16	1,1	0	11
MAU20	Manaus	AM	Alter do Chão	32	<5	0,42	45	62	6,9	5,80	33,00	24	6,9085	0,605	10,5	0,6642	1,28	<0,0001	<0,0001	<1,0	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	24
MAU21	Manaus	AM	Alter do Chão	33	5	0,58	15	166,6	6,2	6,20	9,00	<5	0,22913	0,997	0,0651	0,0436	0,0293	<0,0001	<0,0001	<1,0	<0,5	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	0
MAU22	Manaus	AM	Alter do Chão	28,9	<5	0,11	18	137,8	5,8	4,58	13,00	<5	0,6357	0,425	0,0859	0,1813	0,0445	0,00745	<0,0001	<1,0	0,604	0	0	0,4	<0,02	<0,1	0,19	0,19	0,6	0	0,5
MAU23	Manaus	AM	Alter do Chão	30,2	<5	<0,1	43	71,4	7,7	4,13	32,00	<5	0,45262	0,738	0,1371	0,0446	0,0832	0,00613	0,000266	<1,0	<0,5	0	0	0,935	<0,02	<0,1	0,25	0,25	1,2	0	0
MAU24	Manaus	AM	Alter do Chão	29,1	<5	<0,1	28	184,7	6,2	5,73	22,00	16	2,26103	0,310	4,02	0,2348	0,4083	0,0755	0,000394	<1,0	<0,5	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,20	0,20	<0,5	0	16
MAU25	Manaus	AM	Alter do Chão	29,2	<5	0,16	21	-10,3	7,6	4,90	16,00	<5	0,956	0,865	5,08	0,1323	0,1525	0,01	<0,0001	<1,0	<0,5	0	0	1,098	<0,02	<0,1	0,19	0,19	1,3	0	0,5
MAU26	Manaus	AM	Alter do Chão	28,6	<5	0,20	16	51,5	6,7	4,59	13,00	<5	3,30055	0,301	0,1862	1,18	0,0855	0,0095	<0,0001	<1,0	<0,5	0	0	0,23	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	0
MAU27	Manaus	AM	Alter do Chão	28,6	<5	<0,1	40	29,8	6,8	4,46	31,00	<5	1,35459	0,325	3,16	0,009	0,3249	0,0525	0,00113	<1,0	<0,5	0	1	0,249	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	0
MAU28	Manaus	AM	Alter do Chão	29,5	<5	0,52	57	174,8	6,5	4,11	38,00	<5	1,78276	1,580	0,5334	0,1947	0,3161	0,0288	0,00634	<1,0	<0,5	0	0	2,063	<0,02	0,12	<0,1	0,21	2,3	0	0
MAU29	Manaus	AM	Alter do Chão	29,5	<5	<0,1	24	135,5	5,9	4,43	18,00	<5	0,37511	0,499	0,1634	0,0769	0,0446	0,00819	<0,0001	<1,0	<0,5	0	1	0,235	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	0
MAU30	Manaus	AM	Alter do Chão	28,9	<5	<0,1	15	119,9	6,1	4,89	12,00	<5	0,69874	0,220	0,2441	0,1132	0,1014	0,0236	<0,0001	<1,0	<0,5	0	1	0,421	<0,02	0,11	0,17	0,28	0,7	0	0,5
PIN31	Parintins	AM	Alter do Chão	27,8	<5	0,33	32	145	4,22	5,18	22,00	0	0,85551	0,752	0,1027	0,2461	0,0586	0,0039	0,00446	1,229	0,951	1	1	0,889	<0,02	<0,1	0,23	0,23	1,1	0	0
PIN32	Parintins	AM	Alter do Chão	27,9	<5	1,4	20	135,3	4,38	4,27	18,00	0	1,77177	0,134	0,0922	0,5780	0,0797	0,286	0,00182	<1,0	0,69	0	1	0,422	<0,02	<0,1	0,27	0,27	0,7	0	0
PIN33	Parintins	AM	Alter do Chão	26,8	<5	0,26	17	136,3	4,37	6,29	15,00	0	1,19754	0,248	0,1085	0,3324	0,0894	0,061	0,00105	<1,0	<0,5	0	0	0,176	<0,02	<0,1	0,26	0,26	<0,5	0	0
PIN34	Parintins	AM	Alter do Chão	28,0	<5	0,24	90	148,3	3,12	5,29	49,00	0	1,23701	6,719	0,1765	0,2921	0,1236	0,1258	0,00656	14,438	<0,5	0	0	2,67	<0,02	<0,1	0,52	0,52	3,2	0	0
PIN35	Parintins	AM	Alter do Chão	29,4	<5	0,24	120	161,3	3,97	5,31	82,00	0	3,36542	7,837	0,9447	0,9219	0,2587	0,00551	0,00443	13,374	<0,5	0	1	5,04	<0,02	<0,1	0,27	0,27	5,3	0	0

12.1.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
STM01	Santarém	PA	Alter do Chão	29,0	70	<0,1	279	189	3,69	3,69	241,00	0	23,596	18,598	10,2	7,29	1,31	<0,0001	0,0187	16,57	3,911	0	0	16,16	<0,02	<0,1	0,18	0,18	16,3	0	0
STM02	Santarém	PA	Alter do Chão	26,6	72	0,15	162	149,6	4,03	4,06	162,00	0	2,03523	21,968	1,37	0,3339	0,2928	0,0195	0,00481	18,728	<1,0	0	1	6,28	<0,02	<0,1	0,18	0,21	6,5	0	0
STM03	Santarém	PA	Alter do Chão	29,5	<5	1,4	338	184	3,36	3,84	188,00	0	24,465	30,688	13,8	7,90	1,15	0,0153	0,0408	28,36	<1,0	0	0	17,22	<0,02	<0,1	0,53	0,53	17,8	0	0
STM04	Santarém	PA	Alter do Chão	29,1	76	<0,1	118	130,6	4,37	4,24	116,00	0	4,8863	13,138	5,05	1,31	0,3930	0,00252	0,00978	13,573	0,57	0	1	4,82	<0,02	<0,1	0,27	0,27	5,1	0	0
STM05	Santarém	PA	Alter do Chão	27,9	<5	0,42	196	156	5,22	5,23	195,00	10	32,53	15,968	14,0	9,24	2,30	0,00307	0,0482	13,59	3,601	1	1	12,35	<0,02	<0,1	0,20	0,20	12,5	0	0
STM06	Santarém	PA	Alter do Chão	27,8	9	4,0	60	163,3	4,04	4,66	33,00	0	3,28409	6,523	0,6665	0,8628	0,2749	0,6775	0,021	8,149	0,849	1	1	2,37	<0,02	<0,1	0,13	0,53	2,9	0	0
STM07	Santarém	PA	Alter do Chão	28,8	6	0,29	233	186,3	3,9	7,19	186,00	0	15,12771	18,998	7,46	4,57	0,9031	0,0109	0,0145	20,534	<0,5	0	0	12,8	<0,02	<0,1	0,14	0,15	13	0	0
STM08	Santarém	PA	Alter do Chão	29,0	<5	0,39	331	168,6	3,9	6,04	185,00	0	22,608	23,308	12,0	7,19	1,13	0,0703	0,0155	28,908	11,152	0	0	14,14	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	14,1	0	0
STM09	Santarém	PA	Alter do Chão	28,8	76	<0,1	115	170,6	4,03	4,60	66,00	0	4,5729	5,826	3,15	1,06	0,4690	0,00136	0,0175	6,347	<0,5	1	1	4,75	<0,02	<0,1	<0,1	0,46	5,2	0	0
STM10	Santarém	PA	Alter do Chão	26,6	74	0,52	51	142,6	4,17	4,53	33,00	0	0,5987	5,632	0,3492	0,0886	0,0920	0,0705	0,00382	9,518	0,734	0	0	0,314	<0,02	<0,1	<0,1	0,42	0,7	0	0
STM11	Santarém	PA	Alter do Chão	28,4	102	1,8	129	180	3,84	4,42	68,00	0	3,58718	14,928	1,43	0,8981	0,3273	0,0174	0,00637	11,927	<0,5	0	1	6,28	<0,02	<0,1	<0,1	0,44	6,7	0	0
STM12	Santarém	PA	Alter do Chão	31,4	5	1,2	75	143,3	4,5	4,50	38,00	0	2,02725	5,318	0,5270	0,4665	0,2100	0,00625	0,00294	4,413	<0,5	0	0	4,5	<0,01	<0,1	0,15	0,16	4,7	0	0
STM13	Santarém	PA	Alter do Chão	28,7	71	<0,1	99	195	6,13	3,62	52,00	0	0,16188	0,522	0,0159	0,0249	0,0243	0,013	<0,0001	<1,0	<0,5	0	0	0,215	<0,02	<0,1	0,18	0,18	<0,5	0	0
STM14	Santarém	PA	Alter do Chão	27,4	6	3,1	43	156,3	5,66	7,27	32,00	0	3,45604	4,844	1,06	0,7725	0,3719	0,8538	0,0102	4,013	0,629	0	1	1,259	<0,02	<0,1	0,26	0,27	1,5	0	0
STM15	Santarém	PA	Alter do Chão	31,2	<5	0,51	22	142,3	4,51	6,01	18,00	0	0,6743	0,598	0,0594	0,1213	0,0905	0,00526	0,00191	1,62	<0,5	0	0	0,149	<0,02	<0,1	0,64	0,65	0,8	0	0
STM16	Santarém	PA	Alter do Chão	28,1	6	0,80	18	126	4,73	7,14	11,00	0	0,40256	0,139	0,0315	0,1092	0,0316	0,0861	<0,0001	<1,0	0,856	0	0	0,102	<0,02	<0,1	1,4	1,43	1,5	0	0
STM17	Santarém	PA	Alter do Chão	30,5	<5	2,9	260	193	3,61	5,11	123,00	0	15,356	19,278	4,19	4,24	1,16	0,286	0,0227	21,426	<1,0	0	0	15,04	<0,02	0,45	0,16	0,61	15,7	0	0
STM18	Santarém	PA	Alter do Chão	28,9	5	0,39	124	154,3	4,21	7,11	85,00	0	6,30778	9,144	3,25	1,71	0,4958	0,00503	0,0158	13,228	<0,5	0	0	7,47	<0,02	<0,1	2,0	2,04	9,5	0	0
STM19	Santarém	PA	Alter do Chão	29,2	5	0,57	25	151	4,31	7,16	19,00	0	0,44207	0,561	0,2544	0,0986	0,0477	0,00828	0,000213	1,009	<0,5	0	0	0,772	<0,02	<0,1	0,38	0,38	1,2	0	0
STM20	Santarém	PA	Alter do Chão	28	<5	1,9	145	142,6	4,38	7,32	77,00	0	3,56313	3,625	2,79	0,8606	0,3443	0,0819	0,00992	7,38	<0,5	0	0	3,22	<0,02	<0,1	3,2	3,23	6,5	0	0

12.1.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
STM21	Santarém	PA	Alter do Chão	30,4	<5	0,21	73	145	4,44	7,30	61,00	0	2,43944	3,410	1,68	0,6750	0,1834	0,0121	0,00368	4,266	<0,5	0	0	3,607	<0,02	<0,1	0,13	0,14	3,7	0	0
STM22	Santarém	PA	Alter do Chão	26,9	<5	0,22	195	152,3	4,27	7,00	126,00	0	24,816	23,698	11,8	8,27	1,01	0,0101	0,01	24,28	<1,0	0	0	12,44	<0,02	0,95	<0,1	1,01	13,5	0	0
STM23	Santarém	PA	Alter do Chão	28,7	<5	0,34	89	155,6	4,1	7,25	52,00	0	2,179	5,970	0,9658	0,4805	0,2385	0,0046	0,0038	6,034	<0,5	0	0	4,7	<0,02	<0,1	0,14	0,15	4,9	0	0
STM24	Santarém	PA	Alter do Chão	28,8	<5	0,20	86	170	4	7,18	68,00	0	3,14636	4,164	1,08	0,7262	0,3246	0,0102	0,00578	6,79	<0,5	0	1	3,47	<0,02	<0,1	0,18	0,19	3,7	0	0
STM25	Santarém	PA	Alter do Chão	28,2	5	0,17	240	179,6	3,81	7,09	162,00	0	19,821	16,308	7,14	6,19	1,06	0,0686	0,0124	16,08	3,381	0	0	15,73	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	17,0	0	0
STM26	Santarém	PA	Alter do Chão	28,6	<5	0,52	290	181,3	3,85	7,31	167,00	0	21,41663	24,068	8,97	7,10	0,8943	0,00482	0,0141	21,92	<0,5	1	0	19,17	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	20,1	0	0
STM27	Santarém	PA	Alter do Chão	28,6	5	0,39	155	184,3	3,74	6,05	128,00	0	8,15785	8,658	2,51	2,38	0,5385	0,00548	0,0122	11,767	<0,5	0	0	8,57	<0,02	<0,1	0,15	0,16	8,7	0	0
STM28	Santarém	PA	Alter do Chão	29,2	5	0,59	33	120	5	7,37	20,00	<5	1,20735	1,098	0,2875	0,2025	0,1710	0,00617	0,00323	1,16	<0,5	1	0	1,14	<0,02	<0,1	0,20	0,20	1,3	0	0
STM29	Santarém	PA	Alter do Chão	30,0	6	0,51	184	185,3	3,74	7,02	106,00	0	9,32206	12,778	2,15	2,57	0,7066	0,2456	0,0156	10,509	<0,5	0	1	10,53	<0,02	<0,1	0,17	0,17	10,7	0	8
STM30	Santarém	PA	Alter do Chão	29,3	6	0,55	74	178	3,86	7,21	45,00	0	4,02721	1,197	0,7761	1,04	0,3481	0,0239	0,012	4,529	<0,5	0	0	2,829	<0,02	<0,1	0,15	0,15	3,0	0	0

12.1.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
ALM01	Almeirim	PA	Alter do Chão	29,8	<5	<0,1	215	386	4,6	4,01	143	<5	9,7823	18,11	2,3690	1,899	1,228	0,0627	0,029	16,55	<0,5	0	0	10,35	0,019	0,1	0,09	0,17	10,5	0	0
ALM02	Almeirim	PA	Alter do Chão	30,0	<5	<0,1	159	352	4,9	4,30	98	<5	6,93616	13,058	1,5010	1,655	0,6826	0,2099	0,0153	13,3	<0,5	0	0	8,2	0,019	0,2	0,09	0,23	8,4	0	0
ALM03	Almeirim	PA	Alter do Chão	29,3	<5	<0,1	207	384	4,8	4,20	133	<5	5,79194	21,378	1,9290	1,278	0,6334	0,00184	0,0104	17,741	<0,5	0	0	6,47	0,019	0,3	0,09	0,33	6,8	0	0
ALM04	Almeirim	PA	Alter do Chão	30,0	<5	<0,1	181	289	5,4	5,19	134	11	19,687	13,678	1,9550	5,915	1,195	0,6705	0,0213	24,81	1,499	0	0	5,24	0,019	0,8	0,13	0,93	6,2	0	11
ALM05	Almeirim	PA	Alter do Chão	29,6	<5	<0,1	223	406	4,5	3,95	139	<5	8,2978	23,66	2,1110	1,502	1,108	0,0207	0,0239	18,71	<0,5	0	0	10,55	0,019	0,09	0,13	0,13	10,7	0	0
MAU01	Manaus	AM	Alter do Chão	28	<5	<0,1	53	286	5,5	7,00	32	7	6,57645	1,198	5,1680	0,840	1,092	0,00664	0,00442	4,225	<0,5	0	0	1,805	0,019	0,09	0,88	0,88	2,7	0	7
MAU02	Manaus	AM	Alter do Chão	28,2	<5	<0,1	58	207	5,8	7,11	44	11	15,3165	0,5892	4,8590	3,519	1,59	0,0504	0,00622	<0,5	8,795	0	1	0,099	0,019	0,09	0,11	0,11	0,49	0	11
MAU03	Manaus	AM	Alter do Chão	28,3	<5	<0,1	30	345	5,5	6,99	24	<5	3,21874	0,8996	0,2520	1,154	0,0814	0,0196	<0,001	1,407	<0,5	0	0	1,457	0,019	0,09	0,46	0,46	1,9	0	0
MAU04	Manaus	AM	Alter do Chão	27,8	<5	<0,1	19	311	6,0	5,48	16	8	4,55194	0,393	5,8810	0,204	0,9859	0,00602	<0,001	<0,5	<0,5	0	0	0,163	0,019	0,09	0,10	0,10	0,49	0	10
MAU05	Manaus	AM	Alter do Chão	27,6	<5	<0,1	17	369	5,0	4,98	16	<5	0,78038	0,6446	0,4398	0,174	0,0843	0,00553	<0,001	0,558	<0,5	0	0	0,526	0,019	0,09	0,25	0,25	0,8	0	0
MAU06	Manaus	AM	Alter do Chão	30,9	<5	<0,1	75	353	5,1	7,11	62	4,9	2,42219	6,2935	1,0817	0,738	0,1409	<0,001	<0,001	6,449	0,511	0	0	4,16	0,019	1,9	0,86	2,76	6,9	0	0
MAU07	Manaus	AM	Alter do Chão	27,7	<5	<0,1	70	192	5,5	5,15	56	4,9	3,486	6,548	1,2430	0,927	0,285	7,265	0,0858	6,13	5,014	0	0	6,34	0,289	1,1	0,45	1,55	8,3	0	0
MAU08	Manaus	AM	Alter do Chão	28,3	<5	<0,1	18	317	5,5	5,58	17	10	1,24045	0,3648	2,9970	0,181	0,192	0,0128	<0,001	0,624	<0,5	0	1	0,245	0,019	0,09	0,14	0,14	0,49	0	10
MAU09	Manaus	AM	Alter do Chão	27,9	<5	<0,1	94	415	4,9	7,10	100	<5	4,63956	7,256	5,6640	0,890	0,5891	<0,001	0,027	7,119	<0,5	0	1	6,18	0,019	0,8	0,24	1,04	7,2	0	0
MAU10	Manaus	AM	Alter do Chão	26,8	<5	0,36	16	285	5,4	6,99	15	<5	0,28022	0,8378	0,0326	0,089	0,0142	0,161	<0,001	1,42	<0,5	0	0	0,208	0,019	0,09	0,09	0,09	0,49	0	0
MAU11	Manaus	AM	Alter do Chão	27,4	<5	<0,1	45	310	5,3	5,13	33	<5	0,33791	3,925	0,3586	0,053	0,0501	0,1374	<0,001	3,549	<0,5	0	0	2,57	0,019	0,2	0,09	0,30	2,9	0	0
MAU12	Manaus	AM	Alter do Chão	28	<5	<0,1	16	353	5,2	5,10	14	<5	0,48857	0,9345	0,0426	0,072	0,0752	0,0252	<0,001	0,888	<0,5	0	0	0,395	0,019	0,09	0,16	0,16	0,6	0	0
MAU13	Manaus	AM	Alter do Chão	27,5	<5	<0,1	21	347	5,6	7,00	17	8	1,33805	0,423	3,5480	0,268	0,163	<0,001	0,00296	<0,5	<0,5	0	1	0,123	0,019	0,09	0,13	0,13	0,49	0	8
MAU14	Manaus	AM	Alter do Chão	28,6	<5	<0,1	44	413	4,7	7,11	28	<5	1,52109	1,636	0,2822	0,441	0,1024	0,013	0,00191	2,062	<0,5	1	1	2,066	0,019	0,1	0,09	0,17	2,2	0	0
MAU15	Manaus	AM	Alter do Chão	27,5	<5	<0,1	20	397	5,1	4,74	16	<5	0,3377	1,071	0,5067	0,046	0,0545	0,0266	<0,001	0,718	<0,5	1	1	0,512	0,019	0,09	1,1	1,05	1,6	0	0

12.1.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)	
MAU16	Manaus	AM	Alter do Chão	26,2	6	<0,1	35	374	4,7	4,40	33	4,9	3,03162	0,3816	0,4311	0,933	0,1707	0,0534	<0,001	0,644	<0,5	1	1	1,447	0,019	0,09	0,27	0,27	1,7	0	5	
MAU17	Manaus	AM	Alter do Chão	28,3	<5	<0,1	49	354	5	5,14	41	<5	2,28622	2,127	3,8000	0,207	0,4317	0,0117	0,00249	3,374	<0,5	0	0	2,978	0,019	0,09	0,09	0,09	3	0	0	
MAU18	Manaus	AM	Alter do Chão	27,8	<5	<0,1	59	308	5,9	7,11	46	<5	3,75678	5,918	3,7440	0,690	0,4958	0,0009	0,00517	5,293	<0,5	0	1	2,907	0,019	0,09	0,10	0,10	3	0	0	
MAU19	Manaus	AM	Alter do Chão	28,5	<5	<0,1	20	382	5,7	7,00	18	<5	1,78302	0,381	2,8920	0,353	0,2197	<0,001	0,00172	0,522	<0,5	1	1	0,933	0,019	0,09	0,18	0,18	1,1	0	0	
MAU20	Manaus	AM	Alter do Chão	26,5	<5	<0,1	109	401	4,7	4,46	72	<5	2,0507	15,0429	0,9363	0,628	0,117	0,0274	<0,001	14,068	<0,5	0	1	4,32	0,019	1,4	0,66	2,06	6,4	0	0	
MAU21	Manaus	AM	Alter do Chão	28,8	<5	<0,1	20	385	5,2	6,93	16	<5	1,30615	0,4374	2,8880	0,409	0,069	<0,001	<0,001	0,848	<0,5	0	1	0,909	0,019	0,09	0,12	0,12	1	0	0	
MAU22	Manaus	AM	Alter do Chão	30,9	<5	<0,1	10	423	4,8	6,93	9	<5	0,08999	0,5617	<0,001	<0,001	0,0214	<0,001	<0,001	<0,5	<0,5	0	1	0,339	0,019	0,09	0,12	0,12	0,49	0	0	
MAU23	Manaus	AM	Alter do Chão	29,2	<5	<0,1	23	286	6,0	5,75	18	<5	1,90533	1,148	4,9190	0,243	0,3163	0,008	0,00107	<0,5	<0,5	0	1	0,099	0,019	0,09	0,11	0,11	0,49	0	0	
MAU24	Manaus	AM	Alter do Chão	27,2	<5	<0,1	20	372	5,2	6,97	18	<5	1,51655	0,4818	2,6540	0,356	0,153	<0,001	<0,001	<0,5	<0,5	0	0	0,128	0,019	0,09	0,28	0,28	0,49	0	0	
MAU25	Manaus	AM	Alter do Chão	29,5	<5	<0,1	26	392	5	7,10	21	<5	0,93063	1,178	0,3619	0,103	0,1643	<0,001	0,00422	0,669	<0,5	0	0	1,495	0,019	0,09	0,15	0,15	1,6	0	0	
MAU26	Manaus	AM	Alter do Chão	27,1	<5	<0,1	8,7	360	5,5	5,18	5	12	1,52991	0,9413	0,5085	0,272	0,2076	0,1451	0,013	0,503	1,688	1	1	0,099	0,019	0,09	0,14	0,14	0,49	0	11	
MAU27	Manaus	AM	Alter do Chão	29,4	<5	<0,1	12	334	5,1	4,74	10	<5	0,69505	0,3695	0,2555	0,158	0,073	0,0638	<0,001	<0,5	<0,5	0	1	0,359	0,019	0,09	0,15	0,15	0,5	0	0	
MAU28	Manaus	AM	Alter do Chão	26,2	<5	<0,1	8,8	385	5,2	5,45	5	<5	0,24087	0,4376	1,2630	<0,001	0,0582	0,0365	<0,001	<0,5	<0,5	0	1	0,203	0,019	0,09	0,11	0,11	0,49	0	0	
MAU29	Manaus	AM	Alter do Chão	27,6	<5	<0,1	11	402	5,3	6,91	10	<5	0,28475	0,5771	0,0594	0,077	0,0225	<0,001	<0,001	<0,5	<0,5	0	1	0,193	0,019	0,09	0,10	0,10	0,49	0	0	
MAU30	Manaus	AM	Alter do Chão	28,2	10	<0,1	26	311	5,7	5,72	23	14	4,35882	3,896	2,9920	1,407	0,2052	0,1292	<0,001	1,308	<0,5	1	1	0,099	0,019	0,09	0,12	0,12	0,49	0	14	
MAU31	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU32	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU33	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU34	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU35	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

12.1.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nítrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
MAU36	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU37	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU38	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU39	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU40	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU41	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU42	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU43	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU44	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU45	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU46	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU47	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU48	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU49	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU50	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PIN31	Parintins	AM	Alter do Chão	30,5	<5	<0,1	30	178	5,0	4,37	20	<5	0,8402	0,3711	0,1578	0,214	0,0745	0,0134	0,00643	0,663	<0,5	0	1	0,908	0,019	0,1	<0,1	0,13	1	0	0
PIN32	Parintins	AM	Alter do Chão	29,9	<5	<0,1	219	53	4,3	3,89	134	<5	13,75604	13,648	2,1370	4,175	0,8094	0,0103	0,0572	16,42	<0,5	0	0	11,78	0,019	0,09	0,22	0,22	12	0	0
PIN33	Parintins	AM	Alter do Chão	29,4	<5	<0,1	90	389	5,0	4,28	55	<5	2,82395	8,112	0,2180	0,934	0,1195	0,0198	0,00587	12,994	<0,5	0	1	2,594	0,019	0,09	0,09	0,09	2,6	0	0
PIN34	Parintins	AM	Alter do Chão	27,9	<5	<0,1	20	323	5,3	4,56	11	<5	1,42425	0,2354	0,1134	0,439	0,08	0,123	<0,001	0,522	<0,5	0	0	0,169	0,019	0,09	0,09	0,09	0,49	0	0
PIN35	Parintins	AM	Alter do Chão	30,0	<5	<0,1	116	287	5,1	4,19	92	<5	4,39437	8,445	1,0560	1,281	0,2907	0,0107	0,00519	10,759	<0,5	0	1	4,7	0,019	0,09	0,09	0,09	4,7	0	0
STM01	Santarém	PA	Alter do Chão	29	6	<0,1	279	424	4,7	3,91	209	<5	27,4626	17,0	4,6560	8,876	1,29	0,01	0,0157	21,99	8,000	0	0	9,535	0,019	0,09	0,25	0,25	9,8	0	0

12.1.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
STM02	Santarém	PA	Alter do Chão	27,9	<5	<0,1	155	444	4,7	4,23	114	<5	3,31744	19,4	1,1910	0,637	0,42	0,2103	0,0067	17,844	1,246	0	1	8,576	0,019	0,09	0,15	0,15	8,7	0	0
STM03	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM04	Santarém	PA	Alter do Chão	28,2	<5	<0,1	157	221	4,4	4,23	99	<5	8,24501	14,4	2,8850	2,181	0,68	0,2419	0,0188	13,43	0,749	0	0	9,72	0,019	0,09	0,24	0,24	10	0	0
STM05	Santarém	PA	Alter do Chão	28,3	<5	<0,1	188	202	5,7	5,34	117	6	25,6064	14,9	5,3490	7,366	1,75	0,0426	0,0853	18,878	3,102	1	1	11,846	0,019	0,09	0,16	0,16	12	0	6
STM06	Santarém	PA	Alter do Chão	27	6	<0,1	69	238	4,4	4,06	55	<5	2,2764	2,3	0,6457	0,650	0,16	0,2989	0,0027	3,631	0,792	0	0	2,679	0,019	0,09	0,17	0,17	2,8	0	0
STM07	Santarém	PA	Alter do Chão	27,8	<5	<0,1	101	375	5,5	4,84	83	<5	9,17404	8,7	1,9540	2,539	0,69	0,0222	0,0177	9,287	<0,5	0	0	7,52	0,019	0,09	0,21	0,21	7,7	0	0
STM08	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM09	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM10	Santarém	PA	Alter do Chão	26,4	<5	<0,1	48	222	4,9	4,41	35	<5	0,57753	3,4	0,4390	0,066	0,10	0,0353	<0,001	7,765	<0,5	0	1	0,319	0,019	0,09	0,17	0,17	0,49	0	0
STM11	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM12	Santarém	PA	Alter do Chão	26,6	<5	<0,1	68	300	4,4	4,16	53	<5	2,97643	1,2	0,9178	0,666	0,32	0,0122	0,0060	3,619	<0,5	0	0	2,514	0,019	0,09	0,12	0,12	2,6	0	0
STM13	Santarém	PA	Alter do Chão	28,1	<5	<0,1	13	626	4,7	4,69	7	<5	0,21217	0,5	0,0416	0,046	0,02	0,0187	<0,001	<0,5	0,589	0	0	0,356	0,019	0,09	0,11	0,11	0,49	0	0
STM14	Santarém	PA	Alter do Chão	27,3	15	<0,1	43	-97	4,7	4,89	33	6	5,51708	2,1	0,4535	1,397	0,49	1,327	0,0201	1,827	0,499	0	1	3,333	0,019	0,2	0,09	0,29	3,6	0	6
STM15	Santarém	PA	Alter do Chão	26,1	<5	<0,1	21	318	5	4,54	18	<5	0,87132	0,6	0,1133	0,151	0,12	0,00729	<0,001	3,028	0,553	0	0	0,153	0,019	0,09	0,13	0,13	0,49	0	0
STM16	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM17	Santarém	PA	Alter do Chão	28,8	<5	13	206	190	4,3	3,99	126	<5	12,74962	14,6	3,1400	3,922	0,72	0,1402	0,0162	15,78	0,499	0	0	10,51	0,019	1,7	0,20	1,90	12,4	0	0
STM18	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM19	Santarém	PA	Alter do Chão	28,3	<5	<0,1	43	173	4,7	4,32	35	<5	0,77156	1,4	1,0040	0,035	0,17	0,00938	<0,001	2,403	<0,5	0	0	1,983	0,019	0,09	0,09	0,09	2	0	0
STM20	Santarém	PA	Alter do Chão	29,7	<5	<0,1	91	381	4,4	4,11	68	<5	4,40907	2,5	2,3220	0,878	0,54	0,0203	0,0121	5,645	<0,5	0	0	3,37	0,019	0,09	0,09	0,09	3,4	0	0
STM21	Santarém	PA	Alter do Chão	28,5	<5	<0,1	83	295	4,6	4,13	50	0	3,33925	2,4	1,7650	0,762	0,35	0,0146	0,0050	5,285	<0,5	0	0	4,385	0,019	0,09	0,12	0,12	4,5	0	0

12.1.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)	
STM22	Santarém	PA	Alter do Chão	27	<5	<0,1	195	238	4,3	4,15	124	<5	15,5539	11,4	4,5150	4,329	1,15	0,0195	0,0108	20,79	<0,5	0	0	7,96	0,019	1,1	0,11	1,21	9,2	0	0	
STM23	Santarém	PA	Alter do Chão	28,8	<5	0,09	197	385,0	4,7	3,93	125	<5	13,4462	4,9	2,7160	3,071	1,41	0,0121	0,0203	7,96	<0,5	0	0	8,1	0,019	0,2	0,20	0,40	8,5	0	0	
STM24	Santarém	PA	Alter do Chão	28	<5	<0,1	70	85	4,3	4,18	62	<5	3,06307	3,4	1,2040	0,737	0,30	0,0103	0,0040	5,613	<0,5	0	0	3,021	0,019	0,09	0,20	0,20	3,2	0	0	
STM25	Santarém	PA	Alter do Chão	28,3	<5	<0,1	141	190	4,6	4,15	102	<5	11,34572	8,5	2,6800	3,244	0,79	0,0726	0,0110	10,878	4,246	0	0	6,96	0,019	0,09	0,16	0,16	7,7	0	0	
STM26	Santarém	PA	Alter do Chão	27,7	<5	<0,1	310	248	4,2	3,78	206	<5	16,1659	20,7	4,2470	4,500	1,20	0,0051	0,0186	20,91	0,640	0	0	14,12	0,019	0,09	0,15	0,15	14,3	0	0	
STM27	Santarém	PA	Alter do Chão	28,1	<5	<0,1	201	232	3,9	3,93	122	<5	16,31523	12,5	3,1900	5,148	0,8403	0,0109	0,0113	14	<0,5	0	0	10,9	0,019	0,09	0,13	0,13	11	0	0	
STM28	Santarém	PA	Alter do Chão	28,9	<5	<0,1	202	355	5,7	3,92	135	<5	12,75355	12,2	2,1568	3,871	0,75	0,00401	0,0098	14,518	2,113	1	1	6,035	0,019	0,09	0,14	0,14	6,2	0	0	
STM29	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM30	Santarém	PA	Alter do Chão	28,5	<5	<0,1	91	263	4,6	4,08	65	<5	4,62182	1,1	1,6560	1,176	0,41	0,00732	0,0066	3,165	<0,5	0	1	4,5	0,019	0,09	0,22	0,22	4,7	0	0	
STM31	Santarém	PA	Alter do Chão	27,9	<5	<0,1	223	299	4,2	4,02	155	<5	17,895	12,5	3,6780	5,477	1,03	0,0216	0,0100	14,29	2,588	0	0	10,83	0,019	0,09	0,23	0,23	11,1	0	0	
STM32	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM33	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM34	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM35	Santarém	PA	Alter do Chão	28,2	<5	<0,1	20	365	5,0	4,7	16	<5	0,97487	1,0	0,9662	0,008	0,23	0,0242	0,0064	1,677	<0,5	0	0	0,099	0,019	0,09	0,2	0,2	0,49	0	0	
STM36	Santarém	PA	Alter do Chão	28,7	<5	<0,1	19	189	4,8	4,70	14	<5	0,81765	0,6	0,8213	0,029	0,18	0,2356	0,0090	1,488	<0,5	0	0	0,099	0,019	0,09	0,09	0,09	0,49	0	0	
STM37	Santarém	PA	Alter do Chão	33,5	<5	<0,1	83	319	4,7	4,21	49	<5	6,26	4,0	1,2560	1,848	0,40	0,0216	0,0063	5,2	0,607	0	0	4,869	0,019	0,09	0,19	0,19	5,1	0	0	
STM38	Santarém	PA	Alter do Chão	28,8	<5	0,63	99	257	4,3	4,19	59	<5	2,5806	9,4	1,5160	0,518	0,31	0,0301	0,0085	7,486	<0,5	0	0	6	0,019	0,09	0,15	0,15	6,2	0	0	
STM39	Santarém	PA	Alter do Chão	28,5	<5	<0,1	321	395	4,2	3,86	228	<5	25,0813	18,2	6,8670	7,420	1,59	0,0427	0,0163	21,312	<1,0	0	0	15,08	0,019	1,6	7,8	9,38	24,5	0	0	
STM40	Santarém	PA	Alter do Chão	28,5	<5	<0,1	158	205	4,8	4,43	110	<5	19,74428	12,4	2,5200	6,404	0,91	0,0137	0,0062	14,563	1,266	0	0	10,26	0,019	0,09	0,14	0,14	10,5	0	0	
STM41	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

12.1.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)	
STM42	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM43	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM44	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

12.1.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ ¹⁸ O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
ALM01	Almeirim	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,94 ± 0,13	-29,99	-5,49	-	-	-
ALM02	Almeirim	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ALM03	Almeirim	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ALM04	Almeirim	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,98 ± 0,13	-30,16	-5,48	-	-	-
ALM05	Almeirim	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU01	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU02	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU03	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU04	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2130±/-30 BP	0,7671 +/-0,0029	-23,9
MAU05	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	109,0±/-0,4 pMC	1,0897 +/-0,0041	-23,4
MAU06	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU07	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU08	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU09	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2370±/-30 BP	0,7445 +/-0,0028	-22,5
MAU10	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU11	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU12	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU13	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU14	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

12.1.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercúrio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ ¹⁸ O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12		
MAU15	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU16	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU17	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU18	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU19	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU20	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107,1+/-0,3 pMC	1,0709 +/-0,0026	-19,8	
MAU21	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU22	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU23	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,54	-6,27	-	-	-
MAU24	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU25	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,19 ± 0,15	-	33,90	-5,88	-	-	-
MAU26	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49 ± 0,11	-	30,75	-5,89	-	-	-
MAU27	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU28	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU29	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU30	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU31	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU32	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU33	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU34	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU35	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAU36	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

12.1.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquifero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ ¹⁸ O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12	
MAU37	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU38	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU39	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU40	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU41	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU42	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU43	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU44	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU45	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU46	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU47	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU48	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU49	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAU50	Manaus	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PIN31	Parintins	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PIN32	Parintins	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PIN33	Parintins	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PIN34	Parintins	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31 ± 0,14	-	35,56	-6,44	-	-	-
PIN35	Parintins	AM	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,90 ± 0,13	-	36,42	-6,38	-	-	-
STM01	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
STM02	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

12.1.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ ¹⁸ O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
STM03	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM04	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM05	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM06	Santarém	PA	Alter do Chão	<0,001	0,00225	<0,001	0,0559	<0,001	0,00387	0,0028	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
STM07	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM08	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM09	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM10	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,18	-6,49	-	-	-
STM11	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM12	Santarém	PA	Alter do Chão	<0,001	0,0119	<0,001	0,00831	<0,001	<0,001	0,00684	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
STM13	Santarém	PA	Alter do Chão	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
STM14	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM15	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM16	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM17	Santarém	PA	Alter do Chão	<0,001	0,0283	<0,001	0,0326	<0,001	0,00171	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
STM18	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM19	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM20	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM21	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM22	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM23	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04 ± 0,14	-	-	-	-	-

12.1.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Alter do Chão durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ ¹⁸ O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12	
STM24	Santarém	PA	Alter do Chão	0,0019	0,0106	<0,001	<0,001	<0,001	0,00175	0,0521	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-	
STM25	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM26	Santarém	PA	Alter do Chão	<0,001	0,0316	<0,001	0,0131	<0,001	0,00627	0,1504	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-	
STM27	Santarém	PA	Alter do Chão	<0,001	0,0163	<0,001	0,00329	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-	-
STM28	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM29	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM30	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM31	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM32	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM33	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM34	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM35	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM36	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STM37	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52 ± 0,13	-	-	110,5+/-0,4 pMC	1,1047 +/-0,0041	-24,8	
STM38	Santarém	PA	Alter do Chão	<0,001	0,0149	<0,001	0,0138	<0,001	<0,001	1,39	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	0,55 ± 0,13	-	-	-	-	-	-
STM39	Santarém	PA	Alter do Chão	<0,001	0,0127	<0,001	0,0611	<0,001	0,00129	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-	-
STM40	Santarém	PA	Alter do Chão	0,0019	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-	-
STM41	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,15(5) ± 0,09	-	-	-	-	-	-
STM42	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00(5) ± 0,09	43,88	-7,42	2700+/-30 BP	0,7145 +/-0,0027	-24,7	
STM43	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05(5) ± 0,12	42,99	-7,21	2290+/-30 BP	0,7520 +/-0,0028	-23,7	
STM44	Santarém	PA	Alter do Chão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68 ± 0,10	36,07	-6,52	106,4+/-0,4 pMC	1,0642 +/-0,0039	-21,7	

12.2 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho

12.2.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
PVH01	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	30,9	<5	0,62	75	128,90	5,3	5,22	49	8	4,68	9,5	0,95	1,58	0,18	0,121	0,0050	13,29	2,60	0	1	2,761	<0,02	<0,1	0,21	0,21	3,0	0	8
PVH02	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	30,9	<5	0,56	62	127,20	5,1	5,24	45	9	0,52	9,4	0,36	0,14	0,04	0,110	<0,0001	14,23	<0,5	0	0	1,259	<0,02	<0,1	0,52	0,52	1,8	0	9
PVH03	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	31,4	<5	18,00	35	134,80	5,8	5,29	26	9	5,67	3,5	0,82	0,70	0,96	1,577	0,1371	3,77	<0,5	0	1	1,049	<0,02	<0,1	0,77	0,77	1,8	0	9
PVH04	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,0	<5	5,80	68	211,20	5,2	5,43	49	7	7,65	7,8	2,11	0,58	1,51	0,064	0,0795	9,32	<0,5	0	1	2,85	<0,02	<0,1	0,58	0,58	3,4	0	7
PVH05	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	33,0	<5	0,52	45	30,50	6	5,00	32	5	1,53	5,6	0,50	0,51	0,06	0,007	0,0003	4,71	<0,5	0	1	2,903	<0,02	<0,1	0,30	0,30	3,2	0	4,8
PVH06	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	30,5	<5	0,33	13	160,00	5	6,00	10	11	1,26	0,5	1,11	<0,01	0,30	0,008	0,0154	<1	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,17	0,17	<0,5	0	5
PVH07	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	29,5	<5	0,51	59	-87,20	7,2	6,02	41	8	9,42	5,5	1,68	3,45	0,19	0,003	0,0069	7,32	<0,5	0	1	1,217	<0,02	<0,1	0,14	0,14	1,4	0	8
PVH08	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	28,3	<5	1,50	17	162,70	6	5,62	12	10	5,13	0,7	0,53	0,72	0,81	0,018	0,0081	<1	<0,5	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	10
PVH09	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	29,7	<5	<0,1	57	294,30	4,2	5,1	44	<5	3,28	6,469	1,00	1,03	0,17	0,025	0,0046	12,49	<0,5	0	0	1,354	<0,02	<0,1	0,2	0,2	1,6	0	0
PVH10	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	28,4	<5	1,50	326	252,30	4,5	7,22	225	52	58,98	3,3	1,50	19,10	2,74	0,189	0,0051	4,89	12,34	0	0	2,93	<0,02	<0,1	0,12	0,12	3,1	0	42
PVH11	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	27,3	<5	1,30	66	66,30	5,5	6,59	48	25	19,23	1,5	4,60	6,17	0,93	0,020	0,0427	<1	0,52	0	0	0,249	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	26
PVH12	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	30,7	<5	4,00	21	196,70	5,8	5,86	16	5	4,16	0,7	3,58	0,61	0,64	0,097	0,0024	<1	0,63	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	5
PVH13	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	24,9	<5	<0,1	9,2	198,00	5,2	5,12	7	<5	1,11	0,1	0,76	0,25	0,12	0,005	0,0044	<1	0,58	0	1	0,169	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	0

12.2.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
PVH14	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	27,0	<5	<0,1	21	-52,50	6,5	5,26	16	<5	0,91	2,0	0,17	0,23	0,08	0,005	0,0035	1,15	<0,5	0	0	1,259	<0,02	<0,1	0,21	0,21	1,5	0	0
PVH15	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	27,8	<5	1,00	77	186,50	5,7	5,98	54	66	10,94	7,7	1,06	3,87	0,31	0,322	0,0387	8,37	8,48	0	0	0,124	<0,02	<0,1	3,0	2,97	3,1	0	56
PVH16	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	29,1	<5	2,70	78	148,40	5,3	5,03	53	13	21,98	4,2	0,79	6,74	1,25	0,032	0,0034	6,29	6,58	0	0	2,036	<0,02	<0,1	0,20	0,20	2,2	0	11
PVH17	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	26,6	<5	124,00	369	160,90	5,5	6,32	246	42	78,93	42,4	4,45	16,40	9,25	20,418	0,4803	79,97	16,06	0	1	0,13	<0,02	1,5	0,21	1,71	1,8	0	40
PVH18	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	29,9	<5	<0,1	140	58,60	5,5	5,06	105	<5	15,62	13,3	1,89	5,42	0,50	0,007	0,0145	11,35	1,36	0	0	9,55	<0,02	<0,1	0,16	0,16	9,7	0	0
PVH19	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	29,2	<5	0,57	21	6,10	6,1	5,98	17	8	4,32	1,0	1,24	0,87	0,52	0,457	0,0067	<1	<0,5	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	9,5
PVH20	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	30,5	<5	6,10	21	80,90	5,4	5,56	16	<5	2,63	1,9	0,39	0,60	0,27	0,097	0,0661	<1	1,45	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,18	0,18	<0,5	0	0
PVH21	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,4	<5	<0,1	98	31,90	6,4	4,29	68	<5	4,28	8,0	0,96	0,98	0,45	0,013	0,0039	8,08	<0,5	1	1	4,66	<0,02	<0,1	0,23	0,23	4,9	0	0
PVH22	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	31,1	<5	<0,1	193	-15,30	6,3	4,07	127	<5	12,21	17,8	2,11	2,75	1,30	0,066	0,0616	20,69	<0,5	0	1	10,02	<0,02	<0,1	0,12	0,12	10,5	0	0
PVH23	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	29,6	<5	7,50	103,5	177,50	4,5	4,365	69	8,5	6,70	9,0	1,12	1,54	0,70	0,079	0,0317	10,35	<0,5	0	0	5,1705	<0,02	<0,1	0,145	0,145	5,25	0	8,5
PVH24	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	30,7	<5	15,00	14	228,30	4,5	4,66	11	17	1,19	0,2	0,13	0,32	0,09	0,092	0,0019	<1	<0,5	0	0	0,321	<0,02	<0,1	0,17	0,17	<0,5	0	17
PVH25	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	28,1	<5	<0,1	23	108,20	5,5	5,59	14	<5	9,74	0,6	0,15	3,60	0,18	0,036	0,0015	<1	<0,5	0	0	0,648	<0,02	<0,1	0,21	0,21	0,9	0	0
PVH26	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	29,5	<5	<0,1	80	80,10	5,6	4,38	57	<5	5,32	6,5	1,05	1,22	0,55	0,005	0,0085	6,56	<0,5	0	0	3,79	<0,02	<0,1	0,26	0,26	4,1	0	0
PVH27	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	28,8	<5	8,40	70	132,30	5,1	5,37	49	<5	2,61	9,2	0,91	0,82	0,14	0,269	0,0006	10,49	2,16	1	1	1,739	<0,02	<0,1	0,17	0,17	1,9	0	0,5

12.2.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
PVH28	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	29,8	<5	<0,1	144	68,50	6	5,10	106	5	2,88	23,4	1,18	0,77	0,23	0,013	0,0070	8,33	0,51	0	0	11,08	<0,02	<0,1	0,21	0,21	11,3	0	5
PVH29	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	28,7	<5	<0,1	8,9	141,00	5,2	5,11	6	6	1,31	0,2	0,56	0,24	0,17	0,021	0,0045	<1	<0,5	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	6
PVH30	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	30,1	<5	0,24	21	180,60	5,1	4,86	16	7	0,76	1,6	0,68	0,14	0,10	0,050	0,0037	1,64	<0,5	0	0	0,863	<0,02	<0,1	0,17	0,17	1,0	0	7

12.2.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
PVH03	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	33,1	<5	<0,1	16	251	5,2	5,19	12	<5	3,50	0,5	1,2	0,6	0,50	0,07	0,0457	0,53	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	0
PVH04	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,6	<5	<0,1	58	274	5,0	6,90	47	<5	2,96	8,2	0,8	0,9	0,16	0,04	0,0057	7,62	0,89	1	1	1,70	0,025	<0,1	0,10	0,10	1,8	0	0
PVH05	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,4	<5	<0,1	55	287	4,8	4,90	41	<5	0,70	4,1	0,5	0,1	0,09	0,13	<0,001	10,73	<0,5	0	0	0,80	<0,02	<0,1	0,14	0,14	0,9	0	0
PVH06	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,5	<5	<0,1	25	318	4,9	4,98	22	<5	0,94	1,5	0,2	0,2	0,10	0,00	<0,001	0,65	<0,5	0	1	1,32	<0,02	<0,1	0,15	0,15	1,5	0	0
PVH08	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	31,7	<5	<0,1	43	332	5,0	6,91	34	<5	1,13	6,6	1,3	0,2	0,17	<0,001	0,0093	7,88	<0,5	0	1	1,19	<0,02	<0,1	0,22	0,22	1,4	0	0
PVH09	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,2	<5	<0,1	66	320	4,8	4,85	53	<5	0,84	4,8	1,2	0,1	0,14	0,03	<0,001	11,94	<0,5	0	0	1,04	<0,02	0,5	<0,1	0,54	1,6	0	0
PVH10	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,7	<5	<0,1	59	146	5,6	5,70	50	18	9,03	2,4	2,9	1,6	1,23	1,35	0,0079	3,41	1,47	0	1	0,55	<0,02	0,4	<0,1	0,42	1	0	20
PVH11	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	33,1	6	<0,1	56	157	6,3	6,24	51	26	15,59	1,9	2,2	4,8	0,87	0,04	0,0107	0,77	<0,5	1	1	0,55	<0,02	<0,1	0,19	0,19	0,7	0	26
PVH12	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	30,6	<5	<0,1	21	240	5,9	5,94	17	14	4,13	0,6	1,9	0,6	0,63	0,11	<0,001	<0,5	0,50	0	1	<0,1	0,077	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	14
PVH13	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	34,8	<5	<0,1	20	317	5,0	5,0	15	<5	2,48	0,3	1,2	0,6	0,26	0,01	0,0085	<0,5	<0,5	0	1	1,10	<0,02	<0,1	0,17	0,17	1,3	0	0

12.2.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
PVH14	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	31,0	<5	<0,1	24	268	5,1	6,98	19	<5	0,86	2,8	0,1	0,3	0,04	<0,001	0,0025	0,91	<0,5	0	1	1,40	<0,02	0,2	<0,1	0,22	1,6	0	0
PVH15	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	31,7	<5	<0,1	53	188	5,4	5,61	42	7	6,01	6,0	0,5	2,2	0,15	0,48	0,0270	9,15	0,86	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,16	0,16	<0,5	0	7
PVH16	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	31,6	<5	<0,1	38	281	4,9	4,90	34	<5	0,42	2,0	0,4	<0,001	0,10	0,07	<0,001	7,36	<0,5	0	0	0,19	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	0
PVH18	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	34,4	<5	<0,1	102	319	4,9	5,05	77	<5	9,26	10,2	1,1	3,3	0,25	0,01	0,0109	9,34	<0,5	0	1	6,11	<0,02	<0,1	0,43	0,43	6,5	0	0
PVH20	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	30,8	<5	<0,1	28	276	5,1	7,00	23	<5	1,85	3,4	0,2	0,4	0,19	0,07	0,0422	4,25	0,59	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	0
PVH21	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	33,8	<5	0,11	18	321	4,9	4,78	15	<5	1,57	1,0	0,3	0,4	0,11	0,02	<0,001	1,02	<0,5	0	0	0,60	<0,02	<0,1	0,11	0,11	0,7	0	0
PVH22	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	35,3	<5	0,12	214	357	4,3	4,35	125	<5	11,49	33,5	1,7	2,6	1,24	0,02	0,0753	34,70	<1	0	0	12,58	<0,02	<0,1	0,45	0,45	13	0	0
PVH24	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	31,1	24	4,3	24	226	5,4	5,40	21	16	7,53	0,8	1,0	1,2	1,09	2,99	0,0483	<0,5	<0,5	0	0	0,32	<0,02	0,1	<0,1	0,13	<0,5	0	15
PVH30	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,1	<5	0,14	28	195	6,1	6,03	20	6	7,75	1,3	0,9	1,1	1,21	0,03	0,0470	<0,5	<0,5	0	1	0,13	<0,02	<0,1	0,22	0,22	<0,5	0	6
PVH31	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	36,3	<5	0,29	14	278	5,6	5,26	14	<5	1,12	1,1	0,8	0,2	0,14	0,05	0,0121	0,93	0,50	0	0	0,28	<0,02	<0,1	0,10	0,10	<0,5	0	0

12.2.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
PVH32	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,6	<5	7,6	86	256	5,6	7,11	44	<5	3,88	10,6	0,3	0,8	0,45	0,03	0,0043	14,54	1,13	0	1	1,24	<0,02	<0,1	0,17	0,17	1,4	0	0
PVH33	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	34,0	<5	<0,1	58	199	5,5	6,90	47	<5	2,96	8,2	0,8	0,9	0,16	0,04	0,0057	7,62	0,89	1	1	1,70	0,025	<0,1	0,10	0,10	1,8	0	0
PVH34	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	33,7	<5	1,1	67	312	4,7	4,77	47	<5	3,50	7,4	0,4	0,6	0,49	0,33	0,0391	11,08	<0,5	0	1	1,73	<0,02	<0,1	0,41	0,41	2,1	0	0
PVH35	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,2	7	<0,1	18	40	4,3	4,56	13	<5	1,17	0,4	0,1	0,1	0,23	0,01	<0,001	0,87	<0,5	0	1	0,64	<0,02	<0,1	0,11	0,11	0,8	0	0
PVH36	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	31,6	<5	<0,1	15	301	3,1	4,72	8	<5	0,10	0,1	0,1	<0,001	0,02	0,22	<0,001	<0,5	<0,5	0	1	0,17	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	0
PVH37	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	33,0	<5	<0,1	45	286	4,8	4,99	36	10	2,37	3,7	1,2	0,2	0,44	0,15	0,0289	5,87	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	10
PVH38	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	33,1	<5	<0,1	107	190	5,7	5,46	65	19	4,25	13,3	0,6	1,5	0,10	0,33	<0,001	19,42	2,03	0	0	0,40	<0,02	2,0	0,26	2,26	2,7	0	18
PVH39	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	31,1	<5	5	54	189	6,0	6,11	40	10	8,02	2,3	0,7	1,6	1,01	0,24	0,0481	1,35	0,94	0	1	1,21	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	1,2	0	10
PVH40	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	31,0	<5	1,8	11	229	5,7	6,93	7	<5	3,12	0,3	0,2	1,0	0,14	0,30	0,0124	<0,5	<0,5	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	0
PVH41	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	32,8	<5	<0,1	38	228	5,5	5,27	27	<5	3,52	2,3	1,4	0,0	0,84	0,01	0,0289	3,02	<0,5	0	0	0,96	0,085	0,2	<0,1	0,22	1,3	0	0

12.2.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercúrio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ ¹⁸ O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
PVH03	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH04	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	<0,001	0,00651	<0,001	0,0403	<0,001	<0,001	0,00259	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
PVH05	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	0,0016	0,00912	<0,001	0,0045	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,32±0,16	-	-	-	-	-
PVH06	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	0,0017	0,00335	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,28±0,14	-	-	-	-	-
PVH08	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH09	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	0,0016	0,0309	<0,001	0,0140	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
PVH10	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH11	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH12	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	0,002	0,0313	<0,001	0,0057	<0,001	<0,001	0,00637	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
PVH13	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,06±0,14	-42,1	-6,89	-	-	-

12.2.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ ¹⁸ O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
PVH14	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH15	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH16	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH18	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	<0,001	0,003	<0,001	0,0312	<0,001	<0,001	0,0286	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-
PVH20	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH21	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH22	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH24	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	0,0011	0,0351	<0,001	0,0058	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,80± 0,12	-50,8	-8,13	-	-	-
PVH30	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH31	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	<0,001	0,0145	<0,001	0,0083	<0,001	<0,001	0,00658	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-

12.2.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Coberturas Cenozoicas de Porto Velho durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012 (Continuação).

Poço	Município	UF	Aquífero	Índice de Fenóis (mg/L)	Bário (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	Arsênio (mg/L)	Benzeno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Etilbenzeno (mg/L)	o-Xileno (mg/L)	m,p-Xilenos (mg/L)	Trício	δD‰	δ ¹⁸ O‰	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
PVH32	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH33	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	<0,001	0,00651	<0,001	0,0403	<0,001	<0,001	0,00259	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	1,60±0,13	-	-	-	-	-
PVH34	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH35	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,68±0,15	-50,1	-7,78	-	-	-
PVH36	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	109,2+/-0,4 pMC	0,9876+/-0,0042	-25
PVH37	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH38	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH39	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,36±0,14	-44,1	-7,22	-	-	-
PVH40	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVH41	Porto Velho	RO	Coberturas Cenozoicas de Porto Velho	<0,001	0,0667	<0,001	0,0285	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,002	-	-	-	-	-	-

12.3 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Barreiras

12.3.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Barreiras durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
BEL001	Belém	PA	Barreiras	29,83	<5	0,47	132	130	4,62	6,97	92	<5	27,52	7,3	3,46	9,42	0,9677	<0,0001	0,00754	7,491	15,73	0	0	3,49	<0,02	0,55	<0,1	0,60	4,1	0	<0,5
BEL002	Belém	PA	Barreiras	30,03	<5	0,74	124	132	4,8	7,1	80	<5	19,63	7,6	2,49	6,18	1,02	0,032	0,00692	12,548	3,34	0	0	8,107	<0,02	0,75	<0,1	0,82	8,9	0	<0,5
BEL006	Belém	PA	Barreiras	25,87	65	36	35	83	6,5	5,17	22		2,33	3,0	0,6261	0,1928	0,4511	5,5	0,0484	4,404	1,828	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,20	0,20	<0,5	0	0
BEL007	Belém	PA	Barreiras	28,9	<5	0,71	128	110	5,42	5,28	93	20	22,94	8,0	2,84	7,79	0,845	0,559	0,00562	12,291	14,642	1	1	0,422	<0,02	1,6	0,24	1,84	2,3	0	20
BEL008	Belém	PA	Barreiras	29,83	<5	1,5	377	1	6,79	7,22	258	212	217,14	2,9	2,75	69,8	10,4	0,4	0,148	<2	3,51	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	210
BEL009	Belém	PA	Barreiras	28,8	<5	1,5	325	-8	6,97	7,27	251	185,0	152,70	3,3	2,75	47,5	8,28	0,3	0,1387	1,681	4,676	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,16	0,16	<0,5	0	170
BEL010	Belém	PA	Barreiras	29,73	<5	1,1	390	-13	7	7,25	288	228	191,82	3,2	4,08	60,0	10,2	0,5	0,1327	2,556	5,335	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	240
BEL011	Belém	PA	Barreiras	28,8	<5	1,0	376	-13	6,97	7,29	281	218	233,35	5,3	5,3	67,1	16,0	0,9	0,1058	<2	3,042	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,12	0,12	<0,5	0	240
BEL012	Belém	PA	Barreiras	29,87	<5	<0,1	177	155	4,51	4,31	120	<5	32,24	13,0	2,08	10,5	1,46	0,0	0,00173	13,51	8,91	1	1	7,74	<0,02	1,1	0,41	1,51	9,3	0	0
BEL013	Belém	PA	Barreiras	27	<5	5,2	318	-2	6,9	7,26	221	177	164,42	3,8	2,68	51,4	8,76	0,7	0,1954	2,158	4,384	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,20	0,20	<0,5	0	150
BEL014	Belém	PA	Barreiras	31,5	<5	0,69	317	17	7,07	7,55	221	160	165,10	3,9	2,68	52,0	8,56	0,4	0,1728	2,188	5,196	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,17	0,17	<0,5	0	150
BEL015	Belém	PA	Barreiras	28,43	<5	1,7	323	-22	7,22	6,93	223	184	175,41	4,0	2,44	56,7	8,21	0,4	0,1977	2,715	4,981	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,21	0,21	<0,5	0	180
BEL016	Belém	PA	Barreiras	29,53	<5	0,48	330	-21	7,21	7,38	226	182	170,49	4,6	2,96	54,5	8,35	0,3	0,1572	2,699	5,734	0	1	<0,1	<0,02	0,11	0,74	1,23	1,2	0	170
BEL017	Belém	PA	Barreiras	28,73	<5	1,2	346	-31	7,33	7,46	242	203	185,65	3,0	2,89	59,5	9,0	0,5	0,0846	1,343	4,208	1	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,18	0,18	<0,5	0	200
BEL018	Belém	PA	Barreiras	28,6	<5	2,0	356	-14	7,2	7,16	247	214,0	197,32	5,0	2,93	62,2	10,2	0,7	0,1233	2,385	4,8	0	0	0,616	<0,02	<0,1	0,16	0,16	0,8	0	220
BEL019	Belém	PA	Barreiras	27,63	<5	1,2	350	-17	7,13	7,38	244	206	188,44	3,4	2,99	60,5	9,07	0,6	0,1174	2,279	5,477	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,18	0,18	<0,5	0	210
BEL023	Belém	PA	Barreiras	30,73	<5	2,4	342	-15	7,02	7,79	233	193	181,19	4,3	3,01	54,6	10,9	0,3	0,1461	4,084	5,03	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,18	0,18	<0,5	0	180
BEL025	Belém	PA	Barreiras	29,67	<5	11	8,1	100	5,58	5,42	6	<5	2,13	1,5	0,9358	0,2776	0,3494	2,8	0,00656	<1	<0,5	0	1	0,134	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	0

12.3.2 - Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Barreiras durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
BEL001	Belém	PA	Barreiras	28,7	<5	<0,1	147	99	5,40	4,87	115	<5	41,11	5,0	2,7	14,3	1,3	0,0121	0,007	7,43	24,95	0	0	4,420	<0,2	0,2	<0,1	0,30	4,7	0	0
BEL002	Belém	PA	Barreiras	29,0	10,0	<0,1	105	92	5,40	5,45	89	12	29,38	2,3	1,4	10,2	0,9	0,0134	<0,001	9,98	7,921	0	0	3,227	<0,2	0,1	0,15	0,25	3,5	0	12
BEL006	Belém	PA	Barreiras	28,8	5,0	26	33	62	5,25	5,21	26	13	5,15	2,3	1,1	1,0	0,6	4,552	0,069	2,61	3,018	0	1	0,141	<0,2	0,5	0,29	0,79	0,9	0	13
BEL007	Belém	PA	Barreiras	28,6	<5	0,34	107	65	5,85	5,77	66	11	20,84	5,9	2,0	7,2	0,7	0,9828	0,00615	9,98	13,774	0	1	<0,1	<0,2	1,3	0,33	1,63	1,6	0	11
BEL008	Belém	PA	Barreiras	29,9	<5	<0,1	321	7	6,77	7,27	197	177	128,35	3,5	3,0	40,1	6,9	0,3416	0,1427	1,94	4,418	0	0	<0,2	<0,2	<0,1	0,37	0,37	<0,5	0	150
BEL009	Belém	PA	Barreiras	29,2	<5	1,1	374	-25	6,94	7,27	244	191	196,38	4,1	3,2	64,7	8,5	1,136	0,1997	1,87	4,226	0	1	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	191
BEL010	Belém	PA	Barreiras	30,0	<5	<0,1	369	-5	7,02	7,33	246	137	136,75	3,3	3,1	44,3	6,3	0,3856	0,1043	1,52	3,656	0	0	<0,1	<0,2	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	137
BEL011	Belém	PA	Barreiras	28,8	<5	<0,1	179	143	4,50	4,33	126	<5	23,93	8,7	2,6	7,2	1,5	0,0278	0,0009	13,07	14,79	0	0	6,690	<0,2	1,8	1,82	1,82	8,5	0	0
BEL012	Belém	PA	Barreiras	30,6	<5	0,40	321	24	7,40	7,5	240	163	164,01	4,3	2,6	53,0	7,7	0,5624	0,2213	3,13	5,728	0	0	<0,1	<0,2	0,2	0,24	0,24	<0,5	0	163
BEL013	Belém	PA	Barreiras	29,9	<5	<0,1	125	148	4,50	4,46	97	<5	16,97	11,2	1,7	5,0	1,1	0,1461	0,00361	10,74	5,661	0	0	5,630	<0,2	<0,1	0,17	0,17	5,8	0	0
BEL014	Belém	PA	Barreiras	31,5	<5	<0,1	339	11	6,70	7,46	209	165	157,45	3,7	3,1	47,6	9,4	0,2798	0,097	5,50	6,028	0	0	<0,1	<0,2	0,1	0,15	0,15	<0,5	0	165
BEL015	Belém	PA	Barreiras	28,3	<5	<0,1	72	95	5,33	5,14	38	<5	20,86	3,7	0,9	6,8	1,0	0,0229	0,0027	5,79	5,871	1	1	1,933	<0,2	<0,1	0,13	0,13	2,1	0	0
BEL016	Belém	PA	Barreiras	31,2	<5	<0,1	184	-22	6,30	5,82	110	13	34,44	9,5	2,7	10,5	2,0	0,0134	0,0009	11,31	23,646	0	0	4,280	<0,2	2,9	3,13	3,13	7,4	0	13
BEL017	Belém	PA	Barreiras	28,6	17	<0,1	345	44	6,03	7,67	206	180	155,41	4,4	2,9	48,7	8,2	0,4326	0,1037	4,43	5,558	0	0	<0,2	<0,4	0,1	0,14	0,14	<0,5	0	178
BEL018	Belém	PA	Barreiras	28,6	<5	<0,1	433	48	6,10	6,42	301	131	124,94	25,2	6,7	39,9	6,2	0,0131	0,00107	13,03	10,559	0	1	3,676	<0,2	7,8	13,6	13,6	17,3	0	131
BEL019	Belém	PA	Barreiras	27,6	<5	<0,1	248	136	5,7	4,53	170	<5	16,39	22,0	4,0	4,9	1,0	0,1515	0,00782	23,24	22,096	0	0	6,820	<0,2	5,7	6,89	6,89	13,7	0	0
BEL023	Belém	PA	Barreiras	31,5	6	1,3	338	31	7,85	7,9	218	178	154,91	3,7	2,6	49,1	7,8	0,3216	0,1205	4,99	6,012	0	1	<0,2	<0,4	<0,1	0,17	0,17	<0,5	0	176
BEL025	Belém	PA	Barreiras	28,7	<5	<0,1	118	26	6,65	5,83	71	38	35,97	2,7	1,4	11,3	1,9	0,0802	<0,001	4,211	13,756	0	1	1,375	<0,2	<0,1	0,12	0,12	1,5	0	38

12.3.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Barreiras durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Trício	$\delta D\%$	$\delta^{18}O\%$	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
BEL001	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL002	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL006	Belém	PA	Barreiras	0,56 ± 0,13	-22,0	-4,38	-	-	-
BEL007	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL008	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL009	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL010	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL011	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL012	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL013	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL014	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL015	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL016	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL017	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL018	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL019	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-
BEL023	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	21250+/-100 BP	0,0710 +/-0,0009	-15,7
BEL025	Belém	PA	Barreiras	-	-	-	-	-	-

12.4 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Pirabas

12.4.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Pirabas durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
BEL003	Belém	PA	Pirabas	29,53	<5	1,0	352	-29	8,15	7,66	281	198	417,46	2,1	5,84	157,8	5,60	0,1984	0,1436	<2	3,894	0	0	<0,1	<0,02	0,33	0,18	0,51	0,5	0	198
BEL004	Belém	PA	Pirabas	41,73	<5	6,2	324	-1	7,56	7,41	224	170	129,46	5,8	4,88	43,7	4,93	0,711	0,1483	4,386	6,887	0	0	<0,1	<0,02	0,34	7,7	7,99	8,0	0	150
BEL005	Belém	PA	Pirabas	27,63	<5	5,2	273	-20	8,1	6,84	203	151	88,79	2,6	3,21	25,3	6,23	1,446	0,0875	1,982	3,506	0	1	<0,1	<0,02	0,09	0,18	0,18	<0,5	0	149
BEL020	Belém	PA	Pirabas	28,47	<5	<0,1	184	61	5,91	4,17	117	<5	6,92	20,5	1,56	2	0,4695	0,0392	0,0234	22,69	<0,5	0	0	8,16	<0,02	0,09	0,3	0,3	8,5	0	0
BEL021	Belém	PA	Pirabas	29,9	<5	0,63	110	132	4,93	4,76	77	101	19,62	7,4	1,36	5,65	1,34	0,105	0,00211	10,15	5,829	0	0	4,29	<0,02	0,09	0,2	0,2	4,5	0	100
BEL022	Belém	PA	Pirabas	28,8	<5	1,9	59	47	6,11	6,40	49	16	19,48	5,6	0,3838	5,07	1,66	0,025	0,000616	8,174	0,524	0	0	<0,1	<0,02	0,09	0,19	0,19	<0,5	0	15
BEL024	Belém	PA	Pirabas	30,37	<5	0,5	350	11	6,98	7,54	244	<5	184,31	4,1	3,28	54,7	11,6	0,2738	0,1364	3,934	4,864	0	1	<0,1	<0,02	0,09	0,18	0,18	<0,5	0	0,5
BEL026	Belém	PA	Pirabas	29,03	<5	<0,1	211	57	5,72	5,69	141	17	70,20	7,0	2,39	21,7	3,89	0,0209	0,00266	10,158	24,32	0	0	5,04	<0,02	1,5	0,4	1,9	6,9	0	18
BEL029	Belém	PA	Pirabas	30,27	<5	<0,1	442	25	6,4	6,38	307	121	122,38	25,4	6,89	37,9	6,74	0,08	0,00296	27,36	27,318	0	1	5,822	0,042	9,1	3,8	12,9	18,7	0	130
BEL030	Belém	PA	Pirabas	31,13	<5	<0,1	284	142	4,45	4,41	194	<5	23,06	24,9	6,08	6,68	1,55	0,1907	0,0108	33,027	26,626	0	0	6,22	<0,02	3,8	0,79	4,59	10,8	0	0

12.4.2 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Pirabas durante a segunda campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh in situ (25 a 30 °C)	ph in situ (25 a 30 °C)	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L) com base em Ca e Mg	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (E. coli) - P/A em 100 mL	Coliformes Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (como N) - mg/L	Nitrito (como N) - mg/L	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (como CaCO ₃) - mg/L	Bicarbonato (como CaCO ₃) - mg/L
BEL003	Belém	PA	Pirabas	28,6	<5	<0,1	353	8	6,72	7,52	246	253	252,45	2,6	3,3	90,7	6,3	0,4845	0,1	1,18	3,08	0	0	<0,1	<0,02	<0,1	0,19	0,19	<0,5	0	252
BEL004	Belém	PA	Pirabas	30,6	6	<0,1	331	-1	7,05	7,42	217	214	170,17	0,7	2,3	56,3	7,2	0,584	0,2	1,92	5,31	0	0	<0,2	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	214
BEL005	Belém	PA	Pirabas	28,7	<5	12	242	2	6,94	7,22	171	124	108,01	2,9	3,5	32,9	6,3	3,764	0,2	1,51	2,74	0	0	<0,2	<0,02	<0,1	0,22	0,22	<0,5	0	140
BEL020	Belém	PA	Pirabas	30,3	<5	0,17	329	-14	6,05	7,28	211	159	125,95	3,5	3,0	37,1	8,1	0,5088	0,1	4,15	4,86	0	1	<0,1	<0,02	0,1	<0,1	0,13	<0,5	0	159
BEL021	Belém	PA	Pirabas	29,4	<5	<0,1	359	5	6,83	7,33	239	117	111,39	3,9	3,2	34,3	6,3	0,3922	0,1	1,43	3,57	0	0	<0,2	<0,02	<0,1	0,17	0,17	<0,5	0	117
BEL022	Belém	PA	Pirabas	28,0	<5	0,19	138	94	5,40	4,96	92	<5	22,87	11,6	2,3	6,0	2,0	26,6280	0,0	18,13	9,45	1	1	4,490	<0,02	0,1	0,25	0,35	4,8	0	0
BEL024	Belém	PA	Pirabas	31,1	<5	<0,1	324	-2	6,96	7,55	223	150	136,89	4,0	2,4	43,8	6,7	0,3038	0,1	2,79	5,82	0	1	<0,2	<0,04	0,5	0,86	1,36	1,4	0	150
BEL026	Belém	PA	Pirabas	29,6	<5	2,9	327	-34	7,02	7,60	231	164	153,96	5,1	3,3	47,9	8,3	0,628	0,1	1,65	4,61	0	1	<0,2	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	164
BEL029	Belém	PA	Pirabas	30,8	<5	0,45	314	4	6,83	7,38	210	158	135,31	3,7	2,4	41,9	7,4	0,4623	0,2	2,47	5,85	0	0	<0,2	<0,02	<0,1	0,22	0,22	<0,5	0	156
BEL030	Belém	PA	Pirabas	31,1	<5	<0,1	321	-4	6,98	7,77	222	186	168,03	3,7	2,3	56,5	6,5	0,3079	0,1	2,77	5,66	0	1	<0,2	<0,02	0,1	<0,1	0,18	<0,5	0	186

12.4.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Pirabas durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Trício	$\delta D\text{‰}$	$\delta^{18}O\text{‰}$	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
BEL003	Belém	PA	Pirabas						
BEL004	Belém	PA	Pirabas						
BEL005	Belém	PA	Pirabas	0,14 ⁽⁹⁾ ± 0,12	-28,87	-5,24			
BEL020	Belém	PA	Pirabas						
BEL021	Belém	PA	Pirabas						
BEL022	Belém	PA	Pirabas						
BEL024	Belém	PA	Pirabas						
BEL026	Belém	PA	Pirabas						
BEL029	Belém	PA	Pirabas				20530±/-80 BP	0,0776 +/-0,0008	-16,5
BEL030	Belém	PA	Pirabas				22300±/-90 BP	0,0623 +/-0,0007	-16,3

12.5 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Monte Alegre

12.5.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Monte Alegre durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
ITB005	Itaituba	PA	Monte Alegre	28,5	<5	1,2	106	30	6,36	7,24	92	20	16,11	8,8	2,65	5,35	0,6660	0,1926	0,0177	7,908	16,577	1	1	1,529	<0,02	0,67	0,45	1,12	2,6	0	20

12.5.2 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Monte Alegre durante a segunda campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh (mV)	pH in situ	pH a 20°C	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	E. coli - P/A em 100 mL	C. Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrogênio Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
ITB05	Itaituba	PA	Monte Alegre	29	15	<0,1	628	509	8,8	7,44	402	106	101,25	53,1	3,4	20,5	12,208	0,0135	0,0040	88	8	0	1	<0,1	<0,02	0,5	<0,1	0,55	0,6	0	106

12.6 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquitardo Itaituba

12.6.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Itaituba durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh in situ (25 a 30 °C)	ph in situ (25 a 30 °C)	pH a 20°C	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L) com base em Ca e Mg	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (E. coli) - P/A em 100 mL	Coliformes Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (como N) - mg/L	Nitrito (como N) - mg/L	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (como CaCO ₃) - mg/L	Bicarbonato (como CaCO ₃) - mg/L
ITB002	Itaituba	PA	Itaituba	28,80	<5	0,23	177	94,66	5,14	7,09	137	8	19,23	19,318	1,85	5,10	1,58	0,0153	0,0989	20,42	4,36	1	1	9,93	<0,02	<0,1	0,20	0,21	10,1	0	6
ITB003	Itaituba	PA	Itaituba	27,80	<5	0,10	118	132,3	4,46	7,02	76	0	11,30	8,805	1,36	3,18	0,8159	0,00592	0,0318	11,865	0,499	0	0	7,33	<0,02	<0,1	0,15	0,16	7,5	0	0

12.6.2 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Itaituba durante a segunda campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh in situ (25 a 30 °C)	ph in situ (25 a 30 °C)	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L) com base em Ca e Mg	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (E. coli) - P/A em 100 mL	Coliformes Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (como N) - mg/L	Nitrito (como N) - mg/L	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (como CaCO ₃) - mg/L	Bicarbonato (como CaCO ₃) - mg/L
ITB002	Itaituba	PA	Itaituba	29,3	<5	0,93	247	46	7,9	6,32	165	75	71,36	3,8	0,0	17,0	7,0	0,1966	0,2	5,51	<1,0	0	0	<0,2	<0,02	<0,1	0,11	0,11	<0,5	0	75
ITB003	Itaituba	PA	Itaituba	29,5	<5	3,1	187	509	5,8	4,58	153	7	16,53	13,9	2,3	3,9	1,7	0,0550	0,1	12,90	7,42	1	1	7,69	<0,02	2,1	<0,1	2,17	9,9	0	7

12.6.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Itaituba durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Trício	$\delta D_{\text{‰}}$	$\delta^{18}O_{\text{‰}}$	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
ITB002	Itaituba	PA	Itaituba	1,06 ± 0,12	-24,5	-4,54	930+/-30 BP	0,8907 +/-0,0033	-19,4
ITB003	Itaituba	PA	Itaituba	-	-	-	-	-	-

12.7 – Resultados Hidrogeoquímicos das coletas de abril e outubro de 2012 do Aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul)

12.7.1 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) durante a primeira campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh in situ (25 a 30 °C) - mV	pH in situ (25 a 30 °C)	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Dureza (mg/L) com base em Ca e Mg	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (E. coli) - P/A em 100 mL	Coliformes Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (como N) - mg/L	Nitrito (como N) - mg/L	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (como CaCO ₃) - mg/L	Bicarbonato (como CaCO ₃) - mg/L
CZS01	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	25,70	<5	0,57	301	58,6	7,42	7,10	212	159	89	168,44	41,5	3,30	62,7	2,85	0,00443	<0,0001	<2,0	1,266	0	1	<0,1	<0,02	<0,1	0,15	0,15	<0,5	0	151
CZS02	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	26,70	<5	0,66	52	17,6	8,23	5,27	38	7	11	21,24	1,5	3,33	6,90	0,9742	0,0102	0,109	2,138	<0,5	0	0	2,91	<0,02	<0,1	0,18	0,18	3,1	0	7
CZS03	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	26,30	<5	8,5	147	131,6	6,67	6,91	104	86	63	122,24	7,0	6,96	45,5	2,07	0,0631	<0,0001	<1,0	0,547	0	1	0,306	<0,02	<0,1	0,36	0,36	0,7	0	95
CZS04	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	25,60	<5	9,0	130	148,1	6,6	6,72	93	73	58	49,49	6,3	7,15	15,5	2,62	0,2577	0,00743	<1,0	<0,5	0	0	0,251	<0,02	<0,1	0,64	0,64	0,9	0	70
CZS05	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	25,80	<5	0,48	107	187,4	6,83	6,89	77	49	42	28,74	6,9	5,41	9,28	1,35	0,00191	<0,0001	<1,0	0,623	0	1	0,366	<0,02	<0,1	0,29	0,29	0,7	0	8

12.7.2 – Análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) durante a segunda campanha de amostragem de água no período chuvoso em abril de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Temperatura (°C)	Cor (Pt/Co)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)	Eh in situ (25 a 30 °C) - mV	pH in situ (25 a 30 °C)	pH a 20°C	STD (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Dureza (mg/L)	Dureza (mg/L) com base em Ca e Mg	Sódio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (E. coli) - P/A em 100 mL	Coliformes Totais (P/A em 100 mL)	Nitrato (como N) - mg/L	Nitrito (como N) - mg/L	Amônia (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Nitrogênio Total (mg/L)	Carbonato (como CaCO ₃) - mg/L	Bicarbonato (como CaCO ₃) - mg/L
CZS01	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	26,1	11	0,24	319	-28	7,39	7,58	197	68	83	71,064	42,9	1,7	22,1	3,84	0,0375	<0,001	1,08	1,018	0	1	<0,2	<0,02	<0,1	0,14	0,1	<0,5	0	65
CZS02	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	26,8	9	1,4	51	-34	5,03	5,46	30	<5	12	13,9855	1,4	2,1	3,2	1,43	0,00904	0,0960	1,47	<0,5	0	1	2,883	<0,02	<0,1	0,30	0,30	3,2	0	0
CZS03	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	25,8	<5	10	71	-25	6,54	6,71	140	68	68	73,8097	8,8	3,5	23,8	3,467	0,477	0,0131	<0,5	<0,5	0	1	0,266	<0,02	<0,1	0,14	0,14	<0,5	0	68
CZS04	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	26,4	<5	<0,1	135	62	6,55	6,68	111	57	57	54,7151	6,4	3,0	17,4	2,711	0,0699	<0,001	<0,5	<0,5	0	0	0,223	<0,02	<0,1	0,13	0,1	<0,5	0	55
CZS05	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	26,9	<5	<0,1	111	263	6,50	6,86	87	116	35	30,6323	8,1	3,5	9,0	1,978	0,00556	<0,001	<0,5	7,306	1	1	0,29	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0	115

12.7.3 - Análises de metais pesados, BTEX, fenóis e de isótopos ambientais realizadas no aquífero Inominado (Cruzeiro do Sul) durante a segunda campanha de amostragem de água no período de estiagem em outubro de 2012.

Poço	Município	UF	Aquífero	Trício	$\delta D\text{‰}$	$\delta^{18}O\text{‰}$	Percentual de Carbono Moderno (pMC)	Fração de Carbono Moderno (Fmdn)	Razão C13/C12
CZS01	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	-	-	-	-	-	-
CZS02	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	-	-	-	-	-	-
CZS03	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	$0,12^{(9)} \pm 0,11$	-45,7	-7,6	-	-	-
CZS04	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	$-0,06^{(9)} \pm 0,10$	-32,1	-5,4	-	-	-
CZS05	Cruzeiro Do Sul	AC	Cruzeiro do Sul	-	-	-	-	-	-

12.8 – Protocolo de Guia de Coleta de Amostras Bioagri Ambiental

Apresentação

Este guia fornece informações básicas sobre os procedimentos adequados de coletas e preservação de amostras aquosas e sólidas para análises ambientais.

Embora muitas vezes, problemas ambientais decorrentes ou não de atividade antrópica sejam facilmente perceptíveis, a real dimensão destes problemas somente pode ser mensurada a partir de análises laboratoriais realizadas em locais onde possuam os recursos materiais e humanos mínimos necessários, existindo a necessidade da coleta e preservação de amostras para análises em laboratórios especializados, ou talvez de medidas tomadas no campo utilizando-se de instrumentos adequados. Por este motivo, é muito importante obedecer a critérios técnicos cuidadosamente definidos, com coletas sendo realizadas por profissionais qualificados para a função, pois estas são de fundamental importância para que os resultados das análises sejam confiáveis e representem da forma mais próxima possível à realidade. Sem estes cuidados a avaliação da qualidade ambiental pode gerar informações incorretas, dando uma falsa impressão a respeito da realidade, podendo induzir decisões errôneas causando graves prejuízos à saúde humana e preservação do meio ambiente.

Hoje sabemos que a coleta e a preservação das amostras têm influência muito importante sobre os resultados das análises. Águas naturais encontram-se em um sensível equilíbrio dinâmico, onde diversas espécies químicas e biológicas se mantêm estáveis. O simples contato de uma amostra com as paredes no frasco de coleta não apropriado podem alterar a composição da amostra. Também a temperatura e a forma de preservação da amostra podem influenciar na composição material da amostra. É importante ressaltar, que existe um tempo entre a coleta das amostras e a efetiva realização das análises, que pode variar de horas a meses dependendo do tipo de parâmetro em questão. Isto reforça a necessidade da adoção de critérios rígidos para a preservação e armazenamento das amostras, evitando a possível perda das espécies presentes, principalmente por transformação em outras formas químicas.

Na **tabela 12.8.1** a seguir constam os parâmetros a serem analisados, o tipo de frasco para coleta de amostra, a forma de preservação e o tempo para a realização da análise para amostras aquosas. Na **tabela 12.8.2** constam os parâmetros a serem analisados, o tipo de frasco para coleta de amostra, a forma de preservação e o tempo para a realização da análise para amostras sólidas.

Na **tabela 12.8.3** constam preservação, prazo e frascos para análises biológicas e microbiológicas. Na **tabela 12.8.4** constam preservação, prazo e frascos para testes de toxicidade. Na **tabela 12.8.5** temos a quantidade de frascos requeridos para atendimento de algumas legislações, tendo em vista o agrupamento de parâmetros num mesmo frasco.

No **anexo A1** a sequência para uso das bolsas nasço e os esquemas dos frascos de coleta de amostras líquidas (**anexo A2**) e de amostras sólidas (**anexo A3**).

Tabela 12.8.1 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Águas e Efluentes.

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Volume de Amostra	Preservação/ Estocagem da Amostra	Prazo para Análise
Alcalinidade	Polietileno ou vidro	200 ml	Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 14 dias
Acidez	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 14 dias
Ácidos Haloacéticos	Vial	2 x 40 ml	Refrigerar a 4±2°C 4 mg de Cloridrato de amônio/ vial	14 dias até extração Após a extração 21 dias até análise
Bacteriologia	Polietileno ou vidro (Bolsa NASCO)	100 ml	Tiosulfato de Sódio e refrigerar a < 10°C	24 horas
Brometo	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Bromato	Polietileno ou vidro	100 ml	2 gotas EDA 5%	28 dias
Carbamatos	Vidro Âmbar	1.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Carbono Orgânico Total (TOC)	Vidro	100 ml	HCl até pH<2, refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Carbono Orgânico Dissolvido (COD)	Vidro	100 ml	Filtração membrana 0,45 µm HCl até pH<2, refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Cianeto	Polietileno ou vidro	1000 ml	NaOH 10N até pH >12, refrigerar a 4±2°C	14 dias
Clorato	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Cloreto	Polietileno ou vidro	250 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Clorito	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	14 dias
Cloro Total e Residual	Polietileno ou vidro	500 ml	Não requerida	O mais breve possível
Clorofila A	Vidro	1.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	5 dias até a extração e 15 dias a partir da extração
Coliformes Totais/Escherichia Coli	Bag ou frasco polietileno estéril	100 ml	Refrigerar a < 10°C	24 horas e 36 horas para águas tratadas
Condutividade Elétrica / Específica	Polietileno ou vidro	500 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Cor	Polietileno ou vidro	500 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Cromo Hexavalente	Polietileno ou vidro	500 ml	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Polietileno ou vidro	1.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 7 dias
Demanda Química de Oxigênio (DQO) ⁽¹⁾	Polietileno ou vidro	100 ml	H ₂ SO ₄ até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 24 horas Tolerável 7 dias
Dureza Total	Polietileno ou vidro	100 ml	HNO ₃ ou H ₂ SO ₄ até pH<2	06 meses
Índice de Fenóis	Vidro âmbar	500 ml	H ₂ SO ₄ até pH< 4	28 dias
Fluoreto	Polietileno	100 ml	Não Requerida	28 dias
Fosfato (orto ²)	Polietileno ou vidro	200 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas

Tabela 12.8.1 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Águas e Efluentes (Continuação).

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Volume de Amostra	Preservação/ Estocagem da Amostra	Prazo para Análise
Fósforo Total	Polietileno ou vidro	100 ml	H ₂ SO ₄ até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Gás Carbônico (Dióxido de Carbono)	Polietileno ou vidro	100 ml	Não requerida	-
Glifosato	Polietileno ou vidro	100 ml	Não requerida	14 dias
Iodeto	Polietileno ou vidro	500 ml	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Microcistina	Vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	15 dias
Metais Totais (exceto Cromo VI)	Polietileno	500 ou 1000 ml	HNO ₃ até pH<2	06 meses (exceto Hg = 28 dias)
Metais Solúveis	Mesmo que metais totais, porém a amostra deverá ser filtrada em membrana 0,45µm antes de ser preservada.			
Nitrogênio Amoniacal	Polietileno ou vidro	500 ml	H ₂ SO ₄ até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Nitrogênio Nitrato	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Nitrogênio Nitrito	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Nitrogênio Kjeldahl Total	Polietileno ou vidro	500 ml	H ₂ SO ₄ até pH<2, Refrigerar a 4±2°C	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias
Odor	Polietileno	500 ml	Refrigerar a 4±2°C	O mais breve possível
Óleos e Graxas ⁽³⁾	Vidro Âmbar	1.000 ml	HCl ou H ₂ SO ₄ até pH<2; Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Orgânicos Purgáveis (Purge and Trap)	Vidro (Vial)	2 x 40 ml	HCl 1:1 (4 gotas) Refrigerar a + 4°C Obs.: Caso a amostra contenha cloro residual livre este deve ser eliminado antes da adição do ácido através da adição de 4 gotas de solução de tiosulfato de sódio a 10%.	07 dias s/ preserv. 14 dias c/preserv.

Tabela 12.8.1 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Águas e Efluentes (Continuação).

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Volume de Amostra	Preservação da Amostra	Prazo para Análise
Organoclorados e PCB's em água	Vidro âmbar, tampa rosqueável de teflon ou Plástico	2.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	07 dias até a extração 40 dias após a extração
Oxigênio Consumido	Polietileno ou vidro	150 ml	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Oxigênio Dissolvido	Vidro de boca estreita e tampa esmerilhada	300 ml	2 ml de sulfato manganoso e 2 ml de reagente alcali-iodeto azida	8 horas (preferencialmente medida em campo com aparelho portátil)
Pesticidas	Vidro âmbar	1000 ml	Refrigerar a 4±2°C	07 dias até a extração 40 dias após a extração
pH	Polietileno ou vidro	200 ml	Refrigerar a 4±2°C	06 horas (preferencialmente medida em campo)
Radioatividade	Vidro âmbar	100 ml	HNO ₃ até pH<2	1 ano
Série de Sólidos	Polietileno ou vidro	1.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	07 dias
Sólidos Sedimentáveis	Polietileno ou vidro	1.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	07 dias
Sílica	Polietileno	200 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Sulfato	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	28 dias
Sulfeto (idem para sulfeto de hidrogênio)	Polietileno ou Vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C; adicionar 04 gotas de Acetato de Zinco 2N e NaOH até pH>9	07 dias
Sulfito ⁽⁴⁾	Polietileno ou vidro	100 ml	Refrigerar a 4±2°C	24 horas
Surfactantes	Polietileno ou vidro	250 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Turbidez	Polietileno ou vidro	200 ml	Refrigerar a 4±2°C	48 horas
Matriz analítica (Vinhaça)	Polietileno ou Vidro	2.000 ml	Refrigerar a 4±2°C	

- (1) Para efluentes com óleos vegetais ou gelatinas, não acidular, mantendo apenas a refrigeração.
- (2) Imediatamente após a coleta filtrar a amostra com membrana 0,45 µ. Este procedimento reduz a conversão de fosfatos condensados em ortofosfatos pela remoção de material suspenso e microbiológico, o qual pode catalisar a reação.
- (3) Não encher completamente o frasco.
- (4) Encher o frasco completamente, evitando contato com o ar.

Tabela 12.8.2 - Frascos de Coleta, Volume Mínimo Necessário, Preservação e Prazo para Análise - Amostras de Solos e Sedimentos.

Espécie de Interesse	Frasco de Coleta	Quantidade de Amostra (g)	Preservação/Estocagem da Amostra	Prazo para Análise
Orgânicos Voláteis	Frasco de Vidro de Boca Larga	Preencher o Frasco até a Boca 200g	Resfriar a 4±2°C	14 dias
Orgânicos Semi Voláteis	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Dioxinas e Furanos	Frasco de Vidro de Boca Larga	500	Resfriar a 4±2°C	não se aplica
Pesticidas Organoclorados (Bioagri Ambiental)	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
PCB's	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Compostos Organofosforados	Frasco de Vidro de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias até extração 40 dias até análise
Metais (Exceto Cr VI)	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	28 dias para Hg 180 dias para outros metais
Cromo VI	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	30 dias para digestão Análise em até 4 dias após extração
Cianetos	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	14 dias
Sulfeto	Frasco de Vidro ou de plástico de Boca Larga	200	Resfriar a 4±2°C	7 dias

Tabela 12.8.3 - Preservação, prazo para análise e frascos a serem utilizados sem amostras para análises biológicas e microbiológicas.

Variável biológica	Item	Preservação/Estocagem da Amostra	Prazo para análise	Frascos
Perifiton	Contagem e identificação	Formaldeído neutralizado a 4- 5% ou FAA (formol, ácido acético glacial e álcool) ou solução de Transeau (6:3:1) ou mertiolato (1:1000) ou lugol acético 3 – 5% para flagelados	a) um ano b)seis meses c)seis meses	Vidro âmbar ou polietileno
	Clorofila e Feofitina	Refrigerar e encaminhar ao laboratório o mais rápido possível	24 h oras	Vidro âmbar ou polietileno
	Contagem proporcional de espécies diatomáceas	Formaldeído neutralizado a 4 ou 5%	Seis meses	Vidro âmbar ou polietileno
Zooplâncton	Contagem e identificação	Além do formaldeído neutralizado a 40%, outros fixadores podem ser usados como etanol a 7% ou solução de lugol. O formaldeído pode causar distorção em algumas formas de retíferos. Para evitar evaporação, juntar à amostra 5% de glicerina. Em amostras turvas será útil acrescentar 0,04% do corante rosa de bengala.	Um ano	Vidro ou polietileno
Cianobactérias	Polietileno ou vidro	1.000 ml	Lugol refrigerado 4±2°C	06 meses

Tabela 12.8.4 - Preservação, prazo para análise e frascos a serem utilizados sem amostras para testes de toxicidade.

Organismo teste	Tipo de amostra	Teste	Volume de amostra	Preservação/ Estocagem	Frascos
Algas	Águas ou efluentes	Toxicidade aguda / crônica	1.000 ml	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Daphnia	Águas ou efluentes	Toxicidade aguda	1.000 ml	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Ceriodaphnia	Águas ou efluentes	Toxicidade crônica	1.000 ml	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Peixes	Águas	Toxicidade crônica	5.000 ml	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
Peixes	Efluentes	Toxicidade aguda	20 Litros	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno
		Toxicidade crônica	5.000 ml		
Microtox	Águas ou efluentes	Toxicidade aguda	1.000 ml	Refrigeração até o período de 36 horas e congelamento após 36 horas	Vidro ou polietileno

Referências Bibliográficas

- Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st edition, APHA / AWWA / WEF, New York.
- Markert, B. , 1994. Environmental Sampling for Trace Analysis, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany.
- Agudo, E.G. et al. , 1987. Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo.
- NBR 9897 / ABNT - Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores.
- NBR 9898 / ABNT - Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores.
- NBR 10007/ABNT – Amostragem de resíduos, 2° edição, versão 2004.
- EPA - Surface Impoundment Study – Section N°B2 – 18/04/2000.
- EPA SW 846 – Chapter Two – Choosing the correct procedure.
- Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
- EPA SW 846 – Method 9065 Phenolics (Spectrometric, Manual 4-AAP With Distillation)

Tabela 12.8.5 - Quantidade mínima de amostra para atendimento de algumas legislações e métodos – Amostras Aquosas.

Tipo	Vidro Âmbar	Vidro Âmbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidro Âmbar	Vial	Plástico	Plástico	Plástico	Bolsa Nasco	Vidro	Vidro	Medidas de Campo
Volume	1000ml	1000ml	500ml	500ml	500ml	1000ml	40ml	500ml	100ml	100ml	100ml	100ml	100ml	
Preservação	-----	H ₂ SO ₄ pH < 2	H ₂ SO ₄ pH < 2	HNO ₃ pH < 2	NaOH pH > 12	HCl pH < 2	4 gotas HCl 50%	Acetato de Zinco	-----	2gotas EDA 5%	-----	Lugol	HNO ₃ 30%	
Temperatura	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	Refrig.	
Legislação														
NTA 60	2		1	1	1						2			pH
Conama 357/05 Artigos 14, 15 ou 16	5	1		1	1	1	2	1	1	1	1	1		pHO.D.
Conama 357/05 Artigo 34	2	1		1	1	1	2	1		1				pHTemp.
Portaria 518/04 MS	3		1	1	1		2	1	1	1	2		1	pH Cl Livre
Artigo 18 Decreto 8468/76	2	1		1	1	1				1				pHTemp.
Artigo 19-A Decreto 8468/76	1	1	1	1	1	1		1						pHTemp.
Artigo 11 Decreto 8468/76	2	1		1	1	1		1			2			pH O.D.
Metais (**)				1										
VOC (EPA 8260) (30 compostos)							2							
SVOC (EPA 8270)	2													
Demais SVOC	1 a 3 (*)													
Diretiva 98 CEE	5		1	1	1		2	1		1	2			pH
EPA Drinking Water (MCL's)	5		1	1	1		2	1		1	2			pH

(*) Dependendo do limite de quantificação desejado

(**) Metais: Filtrado ou não dependendo do estudo, exceto Cromo VI.

Tabela 12.8.5 - Quantidade mínima de frascos necessários para atendimento de algumas legislações e métodos – Amostras Sólidas (Continuação).

Tipo	Vidro de Boca Larga (Tipo Frasco de Palmito) ou Pote Plástico	Vidro de Boca Larga (Tipo Frasco de Palmito)	Vidro de Boca Larga com tampa metálica
Volume do Recipiente e Massa Mínima Requerida	500 ou 1000ml (mínimo de 0,5kg de amostra)	500 ou 1000ml (mínimo de 0,5kg de amostra)	100ml (Deverá ser preenchido completamente com a amostra)
Temperatura	Refrig.	Refrig.	Refrig.
Legislação/Método			
NBR 10004 – Classificação de Resíduos Sólidos	1 (*)		
Metais e outros parâmetros inorgânicos	1		
VOC's (EPA 8260)			1
SVOC's (EPA 8270)		1	
Demais Compostos Orgânicos		1	

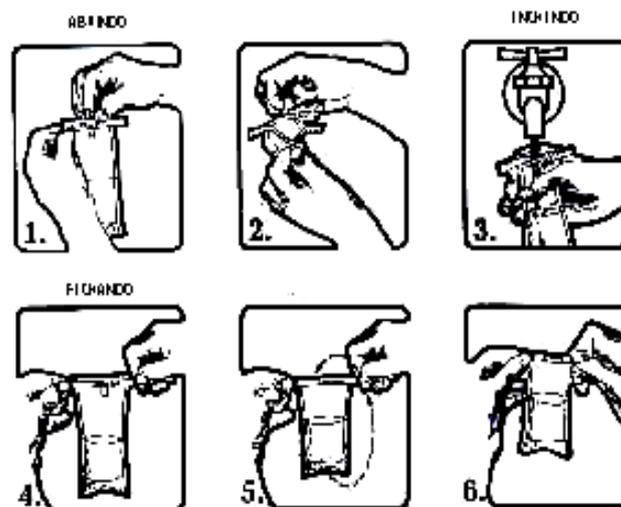
(*) deverá ser garantido pelo menos 500g de amostra na base seca.

Anexo A1 - Sequência para utilização das bolsas nasco

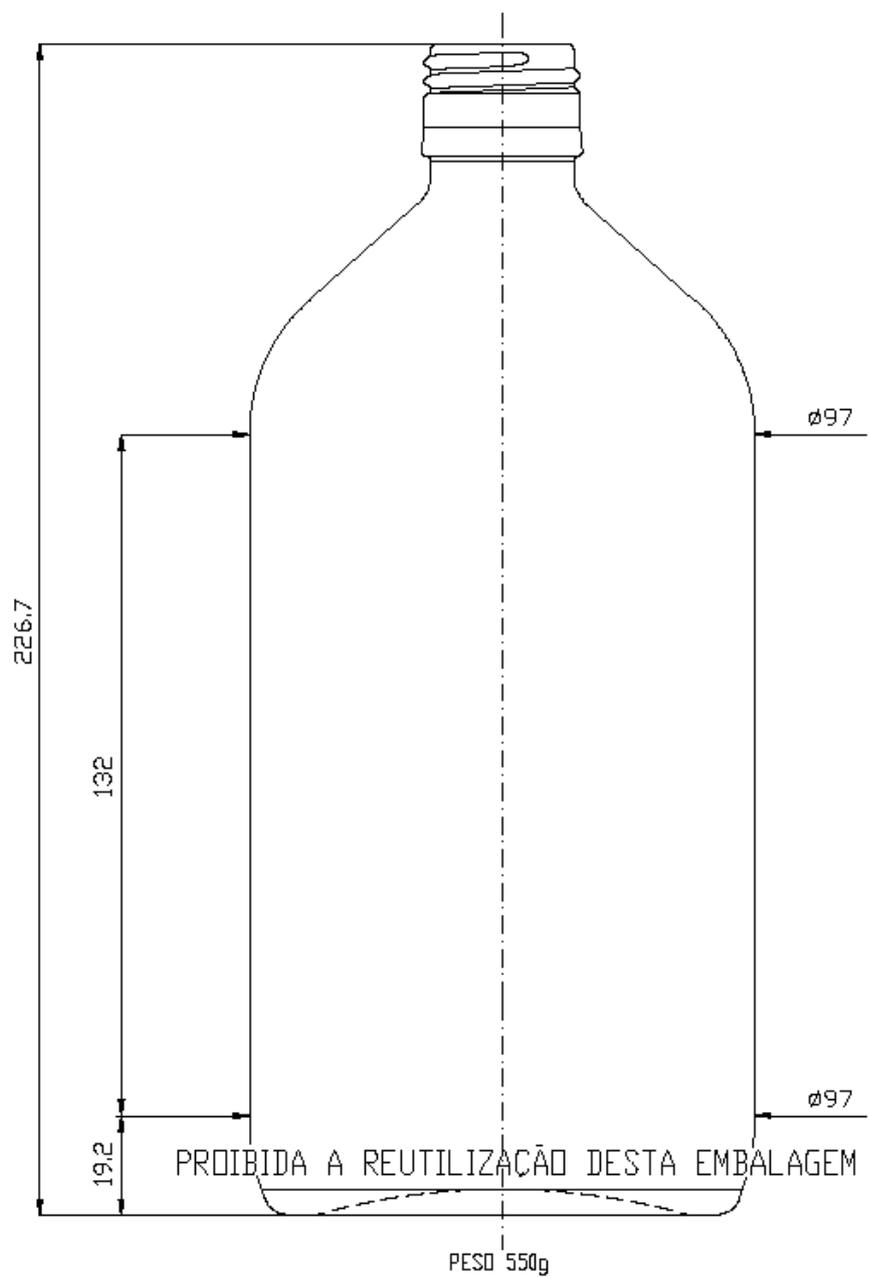
Procedimento para coletar amostras de águas utilizando a bolsa descartável THIO-bag Nasco:

- Rasgar o picote no topo da bolsa;
- Puxar as tiras laterais para abrir a bolsa sem tocar com as mãos na boca;
- Encher a bolsa ate a marca de 100 ml;
- Puxar os arames para fechar a bolsa;
- Girar a bolsa em torno do arame 2 à 3 vezes;
- Dobrar os arames para manter a bolsa fechada.

Antes da coleta deve-se flambar a torneira ou se necessário limpar com solução de hipoclorito de sódio 2 % e mantê-la aberta, após a coleta manter a bolsa em temperatura de aproximadamente $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ em recipiente limpo e desinfetado.



Anexo A2 - Esquema dos frascos de coleta – Amostras Líquidas



Anexo A3 - Esquema dos frascos de coleta – Amostras Sólidas

